

Jukka Valanto

## Tiedonsiirto DVB-T-, DVB-T2- ja DMTB-standardeja käyttäen

Metropolia Ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK)  
Tietotekniikka  
Opinnäytetyö  
25.11.2012

Tekijä(t) Otsikko	Jukka Valanto Tiedonsiirto DVB-T-, DVB-T2- ja DMTB-standardeja käyttäen
Sivumäärä Aika	35 sivua + 1 liite 25.11.2012
Tutkinto	Insinööri
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoliikennetekniikka
Ohjaajat	Sampo Nurmentaus, Projektipäällikkö Ville Jääskeläinen, Yliopettaja
<p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia ja testata TV-lähetykseen kuulumattoman eli niin sanotun geneerisen tiedon välittämistä kolmen eri standardin mukaisten digi-TV-lähetykverkkojen avulla. Tutkitut standardit olivat DVB-T, DVB-T2 ja kiinalainen DTMB. Lähetetty informaatio koostui sähköisen sanomalehden sisältönä toimivista kuvatiedostoista. Tämä insinööriyö tehtiin osana Metropolian Electrian Broadcast -projektia.</p> <p>Insinööriyöprojektin alussa kehitettiin teoreettinen malli sanomalehtisisällön lisäämiseksi digitaalisen TV-lähetyksen joukkoon. Kehitettyä mallia testattiin testiympäristössä. Ohjelmavirran lähetykseen käytettiin DEKTEK 115A -modulaattorikorttia, joka oli asennettu normaaliin pöytätietokoneeseen. Testiympäristössä mallia testattiin sekä DVB-T- että DTMB-standardien mukaisella lähetyksellä ja vastaanotolla. DVB-T-lähetykseen vastaanotettiin tietokoneen USB-väylään sopivalla PCTV 290e DVB-T/T2 -viritintikulla. DTMB-standardin mukaisen lähetyksen vastaanottamiseen käytettiin puolestaan Nercdtv-nimisen yrityksen valmistamaa, kyseisen standardin mukaista USB-väyläistä viritintikkua.</p> <p>Sanomalehtisisällön lähettäminen ja vastaanottaminen digitaalisia TV-järjestelmiä käyttäen onnistui ongelmitta. Insinööriyöprojektin aikana varmistui myös, että TV-lähetykseen kuulumattoman tiedon siirto ei häiritse millään tavalla itse TV-lähetykseen. Projektissa varmistui myös, että nykyaikaisissa TV-lähetyk järjestelmissä on tarpeeksi ylimääräistä kapasiteettia, jotta ne ovat varteenotettava tapa siirtää tämän kaltaista tietoa.</p> <p>Tässä lopputyössä kehitettyä ja testattua tiedonsiirtomallia käytettiin onnistuneesti siirtämään sanomalehtisisältö loppukäyttäjän sähköiselle lukulaitteelle DNA Oy:n ja Sanoma WSOY:n järjestämässä pilottiprojektissa Suomessa Vantaalla. Myöhemmin mallia käytettiin myös Kiinassa vastaavassa pilottiprojektissa, jonka järjesti Kiinan valtiollinen mediayhtiö China Daily.</p>	
Avainsanat	DVB-T, DVB-T2, DTMB, Digitaalinen TV-Lähetyk, Siirtovirta, Sähköinen sanomalehti

Author(s) Title	Jukka Valanto Transmitting generic data using DVB-T/T2 and DTMB systems
Number of Pages Date	35 pages + 1 appendix 25 November 2012
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	School of ICT
Specialisation option	Information Technology
Instructors	Sampo Nurmentaus, Project Manager Ville Jääskeläinen, Principal Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study and test techniques for transferring generic data over digital TV transmission systems. In this case the transmitted data consisted of compressed files that contain the content for electric newspaper. The data was generic in the sense that it wasn't in anyway a part of the TV program entity. This thesis was made as a part of Electria's Broadcast project in Metropolia.</p> <p>The first step of the study was to design the theoretical model for inserting the newspaper content to a DTV transmission multiplex. During testing the transmission multiplex was transmitted with DEKTEK 115A modulator PCI card. The multiplex was transmitted using encoding and modulation according to both DVB-T and Chinese DTMB standards. PCTV 290e DVB-T/T2 USB dongle from Hauppauge was used for receiving DVB-T transmission and for DTMB transmission USB tuner dongle from Nercdtv was used.</p> <p>It was concluded that transmitting newspaper content using digital TV system worked flawlessly with both DVB-T and DTMB standards. It was also discovered that digital TV systems have enough capacity to carry additional data without disturbing the delivery of the actual TV programs.</p> <p>The solutions designed and tested during this thesis were used for delivering digital newspaper content for electric reader device during a pilot project executed by Finnish companies Sanoma WSOY and DNA. Later the same solutions were used in similar newspaper pilot projects in China where the projects were organized by National media company China Daily.</p>	
Keywords	DVB-T, DVB-T2, DTMB, DIGITAL TV TRANSMISSION, TRANSPORT STREAM, ELECTRIC NEWSPAPER, BROADCAST

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Digi-TV-standardit	2
3	DVB-T/T2- ja DTMB-standardien perusteet	3
3.1	Yleistä digi-TV-standardeista	3
3.2	DVB-T-tekniikka	4
3.2.1	<i>Energy dispersal</i> -tekniikka	5
3.2.2	Reed-Solomon-koodaus	6
3.2.3	Konvoluutiolomitus	7
3.2.4	FEC- ja konvoluutiokoodaus	7
3.2.5	QPSK- ja QAM-modulaatiot	8
3.2.6	Signalointi	9
3.2.7	OFDM-modulaatio, suojaväli ja D/A-muunnos	10
3.2.8	DVB-T-signaalin vastaanotto	11
3.3	DVB-T2-standardin tuomat muutokset	11
3.3.1	Physical Layer Pipe	13
3.3.2	LDPC	14
3.3.3	BCH	14
3.4	DTMB-tekniikan perusteet	14
3.4.1	Yleistä DTMB-standardista	14
3.4.2	Kehysrakenne	15
3.4.3	Suojaväli, kehyksen otsake ja TDS-OFDM	15
3.5	Digit-TV-lähetyksen kapasiteetti	16
4	MPEG-TS-siirtovirran rakenne	17
4.1	Yleistä MPEG-standardista	17
4.2	Yleistä MPEG-siirtovirrasta	18
4.3	MPEG-TS-paketin otsakkeen rakenne	18
4.4	Adaptation field	19
4.5	Program association table	20
4.6	Program Map Table	21
5	Digi-TV-järjestelmät	22

5.1	Digi-TV-lähetys ja vastaanotto	22
5.2	Objektikaruselli	23
6	Testiympäristö	24
6.1	Lähetys	24
6.2	Vastaanotto	26
6.3	Tiedonsiirrossa ilmenneet ongelmat	27
7	Datansiirto	28
7.1	Datansiirron pääperiaatteet	28
7.2	Käytetty pakettirakenne	29
7.2.1	Offset	29
7.2.2	Payload	30
7.2.3	CRC	30
7.2.4	Paketti offset-arvolla ff ff ff ff	31
8	Pilottiprojektit	31
8.1	Marja-Vantaa, Suomi	31
8.2	Kiina	32
9	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. TS-Creator ohjelma	

## 1 Johdanto

Jo pidemmän aikaa eri puolilla maailmaa on ollut tarve kustannustehokkaalle tavalle jakaa sanomalehden kaltaista sisältöä suurille ihmismassoille laajalla maantieteellisellä alueella. Perinteinen painettu sanomalehti on varsin toimiva konsepti kaupunkialueella, jossa suhteellisen pienellä alueella asuu paljon potentiaalisia tilaajia, jolloin jakelukustannukset pysyvät kohtuullisina. Maaseudulle siirryttäessä ongelmaksi muodostuu painotuotteen jakelun logistiikka, joka tekee nopeasti sanomalehdestä kannattamattoman. Suurimassa osassa teollistunutta maailmaa on toisaalta jo olemassa valmis TV-lähetysverkko, joka tyypillisesti kattaa suurimman osan väestöstä. TV-lähetysverkkojen digitalisoitumisen myötä niistä on tullut potentiaalinen jakelukanava muunkinlaiselle informaatiolle kuin liikkuvalla kuvalla ja äänellä, esimerkiksi sähköiselle sanomalehdelle.

Tämä lopputyö tehtiin osana Metropolian Electrian Broadcast -projektia. Projektin tarkoituksena oli kehittää sähköisen sanomalehden lukulaite, jonka tiedonsiirto toteutettaisiin olemassa olevia maanpäällisiä digitaalisen television jakelukanavia hyväksikäyttäen. Koska laitteen on tarkoitus toimia kaikkialla maailmassa, pilottivaiheeseen valittiin käytettäväksi standardeiksi Euroopassa ja suurimassa osassa Aasiaa käytössä oleva DVB-T2- ja lähinnä Kiinassa käytössä oleva DTMB-standardi. Tämän lopputyön tarkoituksena oli kehittää ja testata metodi TV-lähetykseen liittymättömän tiedon siirtoon DVB-T/T2- ja DTMB -standardien mukaisten lähetysjärjestelmien avulla.

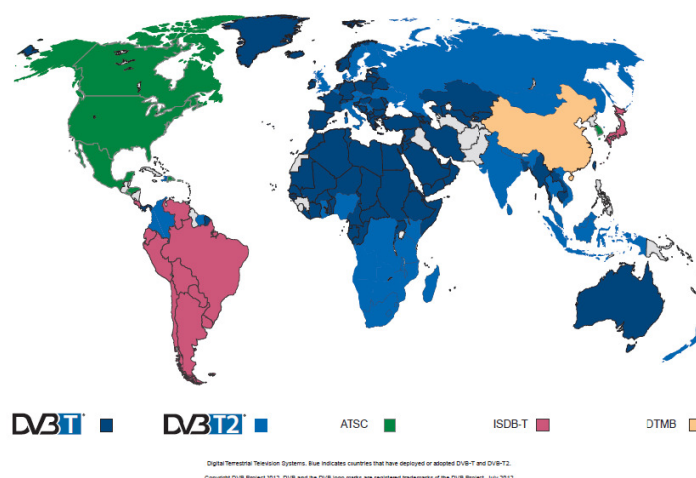
Koko projektin tilaajana ja pääyhteistyökumppanina toimi Kiinan valtiollinen sanomalehti People's Daily. Helposti jaettavalle sähköiselle sanomalehdelle on erityisesti Kiinassa suuri tarve, sillä maa on erittäin laaja, ja suuri osa väestöstä asuu edelleen maaseudulla. Sähköinen sanomalehti mahdollistaa kannattavan sanomalehtiliiketoiminnan alueilla, jonne aikaisemmin ei ole ollut kannattavaa toimittaa uutisia painetussa muodossa. Myös ympäristön kannalta sähköisen sanomalehden kehittäminen on tärkeää, sillä perinteisen sanomalehden painaminen ja jakaminen 400 miljoonalle kiinalaiselle kotitaloudelle kuluttaa valtavat määrät luonnonvaroja [1].

Olemassa olevien standardien pohjalta luotua teoreettista mallia testattiin käytännössä ensin kahden tavallisen tietokoneen muodostamalla kokonaisuudella. Toinen koneista oli varustettu modulaattorilla ja toimi lähetyspäänä, ja toiseen koneeseen oli liitetty normaali kotikäyttöön tarkoitettu digi-TV-viritin, joka toimi vastaanottopäänä. Käytännön testauksia jatkettiin myöhemmin yhteistyökumppani DNA Oy:n lähetyjärjestelmillä.

Varsinaisia mittauksia työn puitteissa ei tehty, vaan keskityttiin käytännön testeihin ja tuotekehitykseen. Lopputulokseksi saatiin, että *MPEG-TS* -siirtovirtaan perustuva tiedonsiirtomalli sopii erinomaisesti myös muun tiedon kuin TV-lähetyksen siirtämiseen. Kehitettyä siirtomallia testattiin kolmessa eri pilottiprojektissa, joista yksi järjestettiin Suomessa ja kaksi Kiinassa.

## 2 Digi-TV-standardit

Maailmassa on käytössä neljän eri standardin mukaisia maanpäällisiä digi-TV-lähetyverkkoja: Pohjois-Amerikassa ja Etelä-Koreassa on käytössä ATC-standardi. Japania ja suurinta osaa Etelä-Amerikkaa hallitsee ISDB-T-standardi. Kiinassa puolestaan on käytössä DTMB-standardi, ja muualla Aasiassa sekä Australiassa, Euroopassa ja Afrikassa on käytössä DVB-T-standardi tai sen toisen sukupolven versio DVB-T2. DVB-T/T2- ja DTMB-standardit kattavat yhdessä yli 80 prosenttia maailman väestöstä (kuva 1). Ottaen huomioon DVB-T/T2- ja DTMB-standardien kattavuuden on varsin perusteltua kehittää ensin uusia tuotteita ja käyttötapoja juuri näille standardeille.



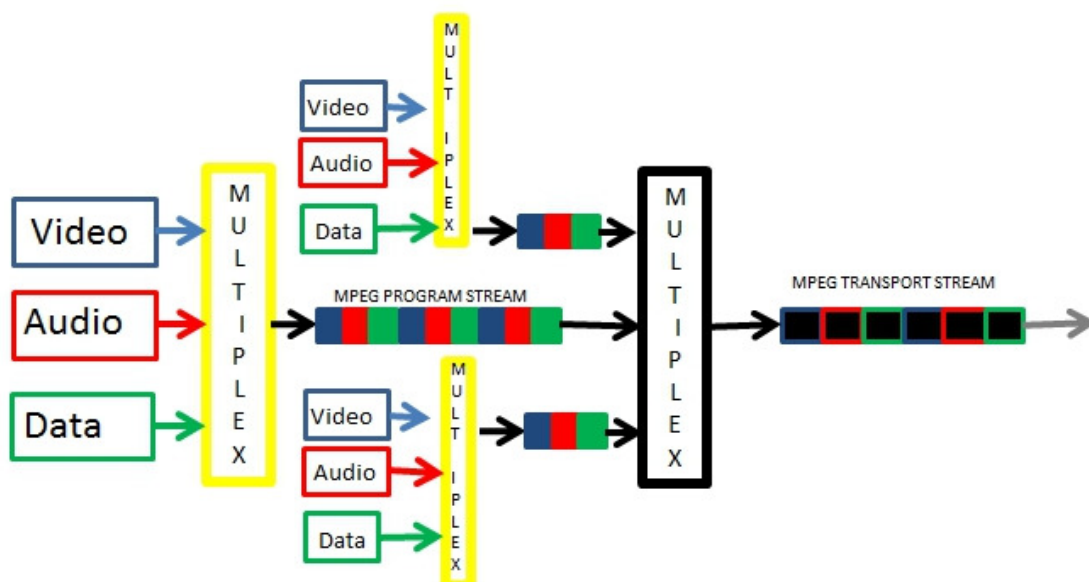
Kuva 1. Eri digi-TV-standardien levinneisyys [2]

### 3 DVB-T/T2- ja DTMB-standardien perusteet

#### 3.1 Yleistä digi-TV-standardeista

Kaikki käytössä olevat standardoidut maanpäälliset digi-TV-lähetystekniikat muistuttavat pääperiaatteiltaan toisiaan. Varsinaiset erot tulevat esiin, kun tarkastellaan teknistä toteutusta yksityiskohtaisemmin. Tekniikat eroavat toisistaan merkittävimmin virheenkorjauksen, modulaation ja suojavälin suhteen.

Digi-TV-lähetyksen kokoaminen alkaa siten, että ohjelmadata, kuten videokuva, ääni ja tekstitys kanavoidaan (multipleksoidaan) yhdeksi tietovirraksi, jonka jälkeen useamman ohjelman tietovirta kanavoidaan yhdeksi siirtovirraksi (kuva 2).



Kuva 2. Ohjelmadatan kanavointi yhdeksi siirtovirraksi

Kuten kuvasta 3 käy ilmi lopullisen tietovirran, esimerkiksi *MPEG transport streamin*, kokoamisen jälkeen lähetettävään bittivirtaan lisätään virheenkorjauksen ja -havaitsemisen vaatima bitti-informaatio. Bittien järjestystä saatetaan myös muuttaa, jotta bittikuvioista tulee vikasietoisempi, ennen kuin se moduloidaan siirtotielle sopivaksi. Digitaalisten bittitasen operaatioiden jälkeen tietovirta moduloidaan, muutetaan analogiseen muotoon ja lähetetään. Vastaanotto tapahtuu käänteisessä järjestyksessä. Eri standardien suurimmat erot ovat virheen korjaukseen käytetyt tekniikat sekä modulaatiotavat. Myös käytetyt lähetystaajuuudet eroavat maittain ja alueittain. Kaikki standardit kuitenkin käyttävät samaa laajaa taajuusaluetta, joka kattaa UHF- ja VHF-taajuuudet.



### 3.2 DVB-T-tekniikka

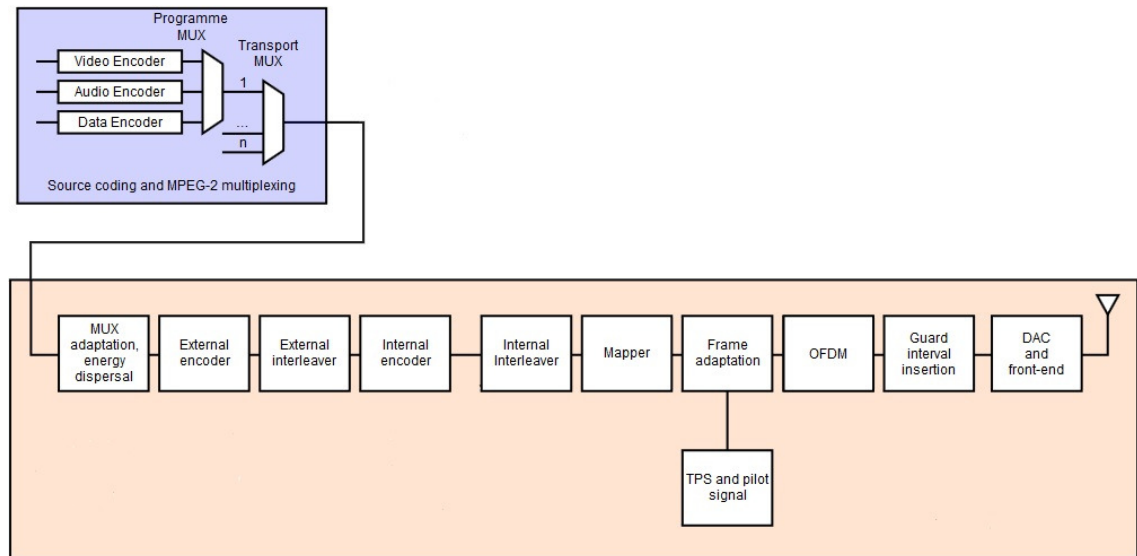
Lyhenne DVB-T tulee sanoista *Digital Video Broadcasting-Terrestrial*, ja sillä tarkoitetaan maanpäällistä digitaalista TV-lähetystekniikkaa [3]. DVB-T-tekniikan määrittelevässä standardissa, *ETSI EN 300 744*, kuvataan tekniikat digitaalisen TV-lähetysten välittämiseksi ilmateitse radiotaajuuksia käyttäen.

Kuva 3 esittää DVB-T-järjestelmän lähetyspään lohkokaaviota. DVB-T-järjestelmissä lähetettävään TV-ohjelmaan liittyvä ääni, kuva ja muu datavirta multipleksoidaan ensin MPEG-ohjelmavirraksi, joka tunnetaan yleisemmin englanninkielisellä termillä *MPEG-program stream (MPEG-PS)*. Ohjelmavirran luomisen jälkeen useampi ohjelmavirta kanavoidaan MPEG-siirtovirraksi, eli *MPEG transport streamiksi (MPEG-TS)*. MPEG-TS koostuu 188 tavun mittaisista paketeista. Seuraavassa vaiheessa TS-paketit syötetään varsinaiseen lähetysjärjestelmään.

Ensimmäiseksi TS-paketeista pyritään minimoimaan pitkät yksi tai nolla bittien jonot *energy dispersal* -nimisellä tekniikalla. Seuraavaksi lähetettävään dataan lisätään ensimmäinen kerros virheenkorjausta, joka on niin sanottu ulompi virheenkorjaus. Tämä tapahtuu lohkokaaavion *external encoder* -lohkossa. DVB-T:n tapauksessa ulompi virheenkorjaus on Reed-Solomon(RS)-koodaus. RS-koodauksen jälkeen, lohkokaaavion *external interleaver* -lohkossa, TS-paketin tavuja viivästetään konvoluutiolomituksella siten, että lopullinen lähetys kestää paremmin purskeisista häiriöistä johtuvat virheet. Tämän jälkeen lähetettävään pakettiin lisätään FEC eli *Forward Error Correction*, joka on niin sanottu sisempi virheenkorjaus. FEC-virheenkorjauksena käytetään konvoluutiokoodausta. Seuraavaksi tavujaksot järjestellään jälleen uudestaan. Tämän jälkeen biteistä muodostetaan tietyn määrän bittejä käsittävä symboli, joka saa tietyn modulaation mukaista konstellaatiokuvausta vastaavan arvon. DVB-T:ssä mahdollisia konstellaatioita ovat QPSK, 16-QAM ja 64-QAM.

Seuraavassa vaiheessa bitit kootaan lohkoiksi (*block*), kehyksiksi (*frame*) ja superkehyksiksi (*super frame*). Lohko on aina joko 1512, 3024 tai 6048 symbolia pitkä. Symbolin kesto on neljä millisekuntia. Kehys koostuu 68 lohkoista ja superkehys puolestaan koostuu neljästä kehyksestä. Tämän jälkeen lohkoihin lisätään pilotti- ja TPS-signaalit. Lyhenne TPS tulee sanoista *Transmission Parameters Signalling*. Pilotti- ja TPS-signaalit helpottavat analogiseksi moduloidun signaalin vastaanottamista.

Viimeisissä vaiheissa symbolivirta ensin OFDM-moduloidaan ja siihen lisätään suojaväli. Tämän jälkeen digitaalinen signaali muutetaan analogiseen muotoon ja lähetetään. DVB-T-standardissa vaihtoehtoina on käyttää joko viiden, kuuden, seitsemän tai kahdeksan megahertsin kanavanleveyttä.

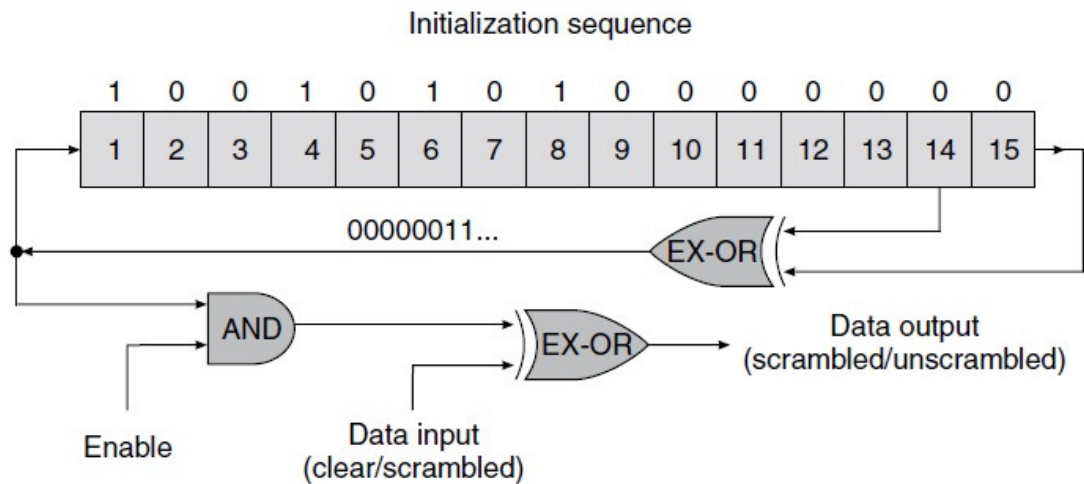


Kuva 3. DVB-T-lähetysjärjestelmän lohkokaavio

### 3.2.1 *Energy dispersal* -tekniikka

*Energy dispersal* -tekniikalla lopullisen lähetettävän signaalin tasavirta- eli niin sanottu DC-komponentti pyritään minimoimaan [4, s. 106]. DC-komponenttia signaalissa kasvattavat pitkät toisiaan seuraavien ykkös- tai nollabittien jaksot, joten minimointi tapahtuu muuttamalla bittijaksot näennäisen satunnaisiksi standardissa määritellyllä polynomilla (kaava 1). Polynomin looginen toteutus tehdään niin sanotulla *Pseudo Random Binary Sequence* -generaattorilla eli PRBS-generaattorilla (kuva 4).

$$1 + X_{14} - X_{15} \quad (1)$$



Kuva 4. Pseudo Random Binary Sequence -generaattorin looginen toteutus

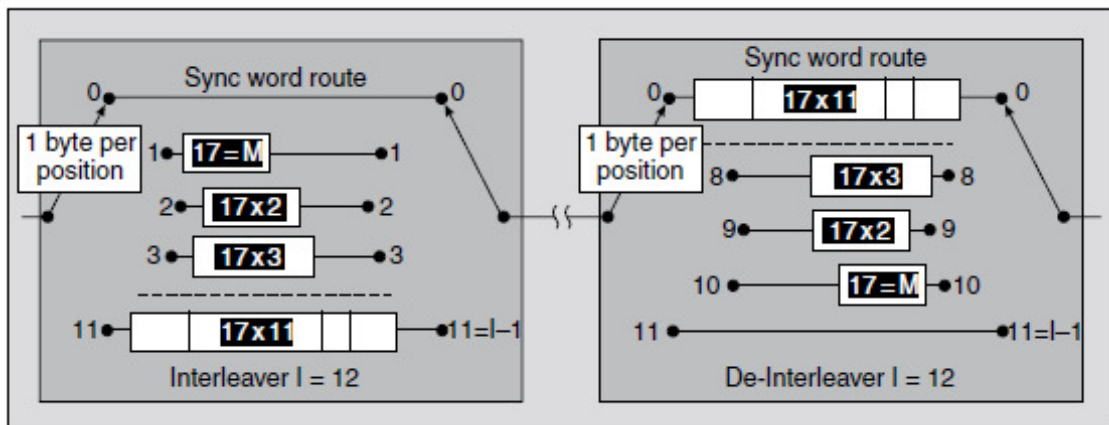
### 3.2.2 Reed-Solomon-koodaus

Reed-Solomon-koodit ovat niin sanottuja ei-binäärisiä syklisiä virheenkorjauskoodoja, jotka yhdistettynä sisäiseen virheenkorjaukseen sopivat hyvin pursketyyppisistä häiriöistä johtuvien bittivirheiden havaitsemiseen ja korjaukseen [4, s. 108]. Purskemuotoiset lyhyet häiriöt ovat erittäin yleinen häiriömuoto radiotaajuisilla signaaleilla, kun siirtoon käytetään ilmarajapintaa. Häiriöt voivat johtua esimerkiksi monitie-etenemisestä.

Reed-Solomon -koodauksessa, jokaisen 188 tavun mittaisen paketin hyötykuorman perään lisätään 16 pariteettitavua. Ulompi virheenkorjaus kasvattaa jokaisen TS-paketin pituuden 204 tavuun ja aiheuttaa näin ollen noin kahdeksan prosentin lisäyksen lähetettävien bittien määrään. Reed-Solomon-koodauksella 188 tavun paketista voidaan havaita ja korjata kahdeksan virheellistä tavua. Edellä mainituista arvoista juontuu DVB-T-standardissa käytetty merkintä RS(204, 188, T=8). Merkintä T=8 kertoo, montako tavua kyseisillä parametreilla voidaan havaita ja korjata.

### 3.2.3 Konvoluutiolomitus

Konvoluutiolomituksella TS-paketin sisältämiä tavuja viivästetään siten, että mahdollinen siirtotiellä ilmenevä purskemuotoinen häiriö leviää useamman TS-paketin alueelle [4, s. 109]. Käytännössä tämä tapahtuu lähettimen lomitusalitteessa (kuva 5), jossa on 12 haaraa, jotka koostuvat erimittaisista muistipaikoista. Tätä kutsutaan lomittimen syvyydeksi ja sitä merkitään  $I=12$ . Haarat on indeksoitu  $j=0-11$  ja niiden pituudet ovat  $17 \times j$ . Lomitin ottaa vastaan 12 tavua kerrallaan ja viivästyttää kutakin tavua sen indeksin vastaavan tavumäärän. Lomituksen jälkeen tavut eivät välttämättä ole enää alkuperäisen paketin alueella. Tällä tavoin yhden paketin kohdalla ilmenevä häiriö ei itse asiassa vaikuta kaikkiin tavuihin, jotka olivat alun perin paketin sisällä.

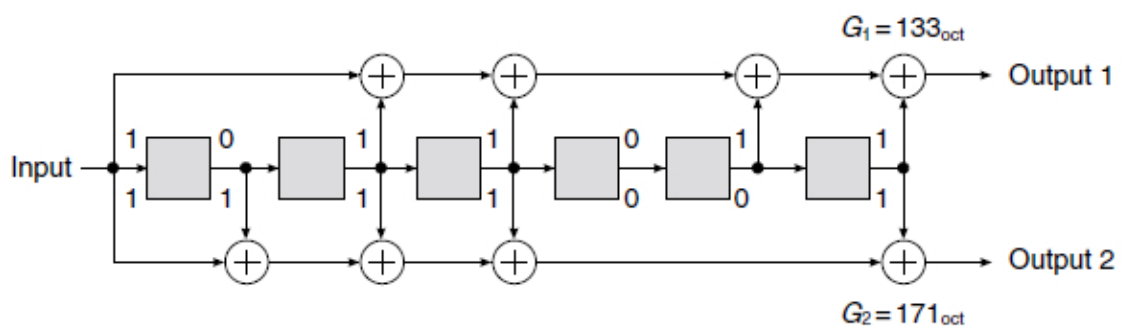


Kuva 5. Konvoluutiolomitus ja lomituksen purku

### 3.2.4 FEC- ja konvoluutiokoodaus

Sisemmässä kooderissa eli lohkokaaavion *Internal encoder* -lohkossa lähetysvirtaan lisätään toinen kerros virheenkorjausta, eli niin sanottu sisempi virheenkorjaus (FEC) [4, s. 111]. DVB-T-standardissa sisempänä virheenkorjauksena käytetään lävistettyä konvoluutiokoodausta. Peruskonvoluutiokoodauksessa lähetettävään tietoon lisätään toistoa 100 % tekemällä alkuperäisestä datasta kaksi bittivirtaa (kuva 6), joiden bittinopeus on sama kuin alkuperäisellä datalla. Tällainen lomitus kaksinkertaistaa bittivirran bittinopeuden. Luonnollisesti näin suuri määrä toistoa heikentää lähetyskanavan spektritehokkuutta. Tämän ongelman minimoimiseksi DVB-T:ssä käytetään lävistettyä konvoluutiokoodausta. Lävistetyssä konvoluutiokoodauksessa

koodaajan X- ja Y-haaroista tulevista yhtäaikaista biteistä ajoittain vain toinen syötetään modulaattoriin. Koodaajasta tulevia bittejä hylätään tietyllä lävistysnopeudella (*puncturing ratio*). DVB-T-standardissa määritellään neljä eri lävistysnopeutta ( $R_c = 2/3, 3/4, 5/6$  tai  $7/8$ ). Suhdeluku kertoo sisään menevien ja ulos tulevien, eli lopullisten lähetettävien bittien suhteen. Esimerkiksi suhdeluku  $3/4$  tarkoittaa, että jokaista sisään menevää kolmea bittiä kohden ulos tulee ja lähetetään lopulta neljä bittiä.



Kuva 6. Konvoluutiokoodauksen looginen esitys

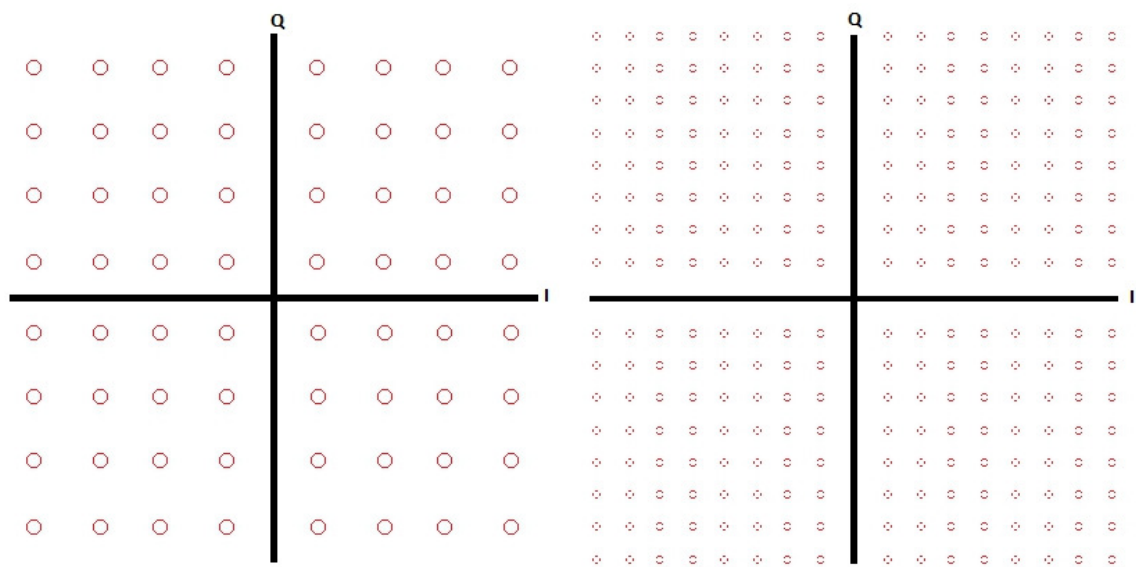
### 3.2.5 QPSK- ja QAM-modulaatiot

Lyhenne QPSK tulee sanoista *Quadrature Phase Shift Keying* ja tarkoittaa vaihemodulointia, jossa käytössä on neljä eri vaihetta, joita ilmaistaan eri asteluvuilla [5]. Jokainen vaihe ilmaisee kaksi bittiä esimerkiksi siten, että  $0^\circ = 00$ ,  $90^\circ = 01$ ,  $180^\circ = 11$  ja  $270^\circ = 10$ .

QAM-lyhenne on puolestaan johdettu sanoista *Quadrature Amplitude Modulation* [6]. QAM-modulaatiossa moduloidaan sekä amplitudia että vaihetta. QAM-termiin liitettävä lukuarvo kertoo käytössä olevien symbolien määrän ja on yleensä luvun kaksi potenssi, jolloin eksponentti kertoo symbolin ilmaisemien bittien lukumäärän. Esimerkiksi 16-QAM-modulaatiossa on käytössä 16 eri modulaatiosymbolia ja kullakin voidaan ilmaista neljä bittiä ( $2^4 = 16$ ), 256-QAM-modulaatiossa yhdellä symbolilla voidaan puolestaan ilmaista kahdeksan bittiä ( $2^8 = 256$ ). QPSK-modulaatio on näin ollen täysin yhtenevä 4-QAM-modulaation kanssa.

Käytännössä QAM-modulaatiossa lopputuloksena saatava moduloitu kanta-aalto tai digitaalisen informaation tapauksessa joukko modulaatiosymbolien arvoja

muodostetaan moduloimalla kahden keskenään eri vaiheessa olevan kantoaallon amplitudia, kumpaakin omalla signaalilla tai bittivirralla. Tämän jälkeen kantoaallot summataan ja saadaan lopullinen kantoaalto tai modulointisymbolien joukko. Modulointisymbolien arvoja on tapana kuvata koordinaatistoon piirretyllä konstellaatio- eli tähtikuviolla. Koordinaatiston vaaka-akseli on niin kutsuttu *in phase* eli I-akseli ja pystyakseli niin kutsuttu *Quadrature* eli Q-akseli (kuva 7). Tämä on siitä käytännöllistä, että digitaalisessa signaalin käsittelyssä edellä mainittuja symboleita on tapana merkitä kompleksiluvuilla, joilla on itseisarvo ja kulma, jotka vastaavat symbolin vaihetta ja amplitudia.



Kuva 7. 64-QAM- ja 256-QAM-konstellaatiokuviot

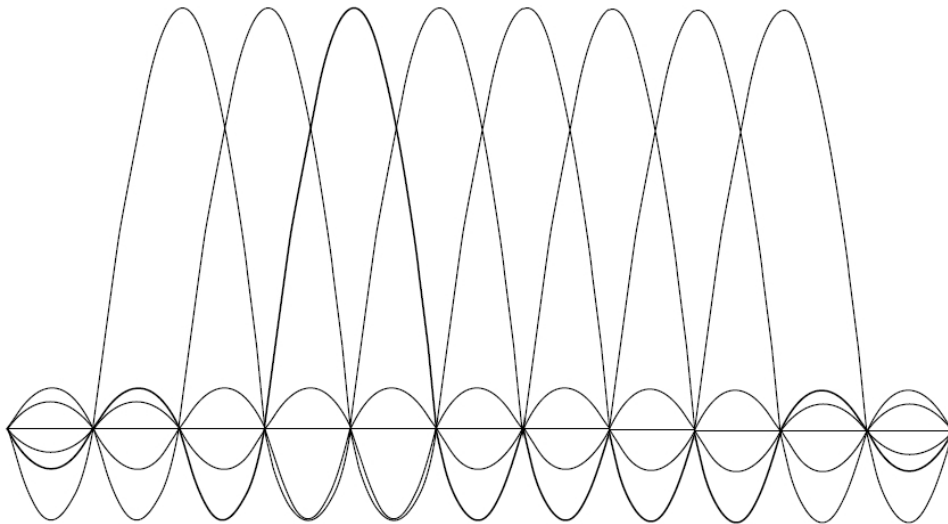
### 3.2.6 Signaalointi

DVB-T-standardi määrittelee kaksi eri signaalointia, pilottisignaalit ja TPS-signaloinnin [3]. TPS-lyhenne tulee sanoista *Transmission Parameter Signaling*. TPS-signaloinnilla välitetään käytetyt lähetysparametrit, kuten kehysnumero, käytetty QAM-konstellaatio ja suojavälin pituus. TPS-informaatio kuljetetaan signaalointiin varatuilla alikantoaalloilla, jotka on moduloitu ja koodattu standardissa ennalta määrättyllä vakiotavalla. Modulaationa TPS-alikantoaalloissa käytetään BPSK-modulointia, joka yhdistettynä ylimääräiseen virheenkorjaukseen takaa lähetysparametritiedon perille menon erittäin huonoissakin olosuhteissa. TPS-signaalointi vie yhteensä 68 bittiä tilaa ja lähetetään omassa kehyksessään.

Pilottisignaaleja käytetään vastaanoton synkronoinnissa. Pilottisignaalit ovat erilisiä alikantaaaltoja, jotka on moduloitu standardissa määritellyllä konstellaatiokuviolla, ja ne lähetetään suuremmalla teholla, jotta synkronointi varmasti onnistuu.

### 3.2.7 OFDM-modulaatio, suojaväli ja D/A-muunnos

*Frame Adaptation* -lohkon jälkeen moduloitava symboli, eli kompleksiluku syötetään OFDM-lohkoon. *Orthogonal frequency-division multiplexing*, eli OFDM on taajuuskanavointitekniikka, jolla digitaalista informaatiota välitetään analogisen siirtotien yli käyttäen suurta määrää erillisillä rinnakkaisilla taajuuksilla olevia alikantaaaltoja [6]. OFDM eroaa normaalista taajuuskanavoinnista (FDM) siten, että siinä rinnakkaisten alikantaaaltojen taajuusspektrin arvo on nolla rinnakkaisten aaltojen spektrin ollessa huipussaan (kuva 8). Tästä tulee termi ortogonaalinen. Ortogonaalisuuden avulla alikantaaallot saadaan pakattua tiheämpään, ja spektritehokkuus kasvaa noin 50 %. Spektritehokkuuden lisäksi merkittävä hyöty vaihesiirrosta on, että yhden taajuuden ollessa huippuarvossaan sen viereiset taajuudet ovat minimissään, jolloin ne eivät häiritse signaalin tulkitsemista.



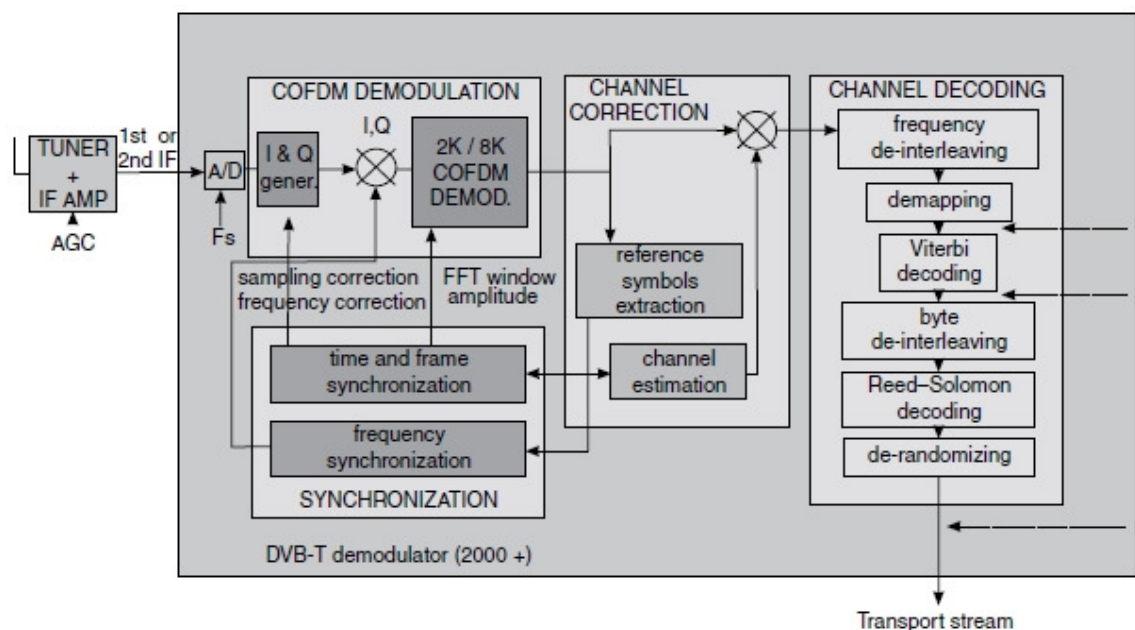
Kuva 8. Toisiinsa nähden ortogonaalisia signaaleja

Käytännössä OFDM toteutetaan siten, että symbolia kuvaava kompleksiluku muutetaan diskreetin Fourier-muunnoksen käänteismuutoksella (IDFT) digitaaliseksi signaaliksi. Tämän jälkeen symbolin perään lisätään suojaväli, johon kopioidaan tietyn mittainen osa symbolin lopusta. Suojavälin pituus riippuu lähetysolosuhteista. DVB-T-standardi

määrittelee neljä eri vaihtoehtoa suojavälin pituudelle. Suojaväli voi olla  $1/4$ ,  $1/8$ ,  $1/16$  tai  $1/32$  symbolin kestosta. Suojavälillä pyritään ehkäisemään monitie-etenemisen vaikutusta. Suojavälin lisäämisen jälkeen digitaalinen signaali syötetään Digitaali-Analogia-muuntimelle, jolloin saadaan lähetettävä analoginen signaali, joka on yksi alikantaaalloista.

### 3.2.8 DVB-T-signaalin vastaanotto

DVB-T-signaalin vastaanotto ja käsittely tapahtuu käytännössä samalla tavalla kuin lähetyksin, mutta käänteisessä järjestyksessä, kuten kuvasta 9 voidaan todeta [4, s. 143-158.]. Esimerkiksi OFDM-alikantaaalloista digitaalinen informaatio saadaan diskreetillä Fourier-muunnoksella käänteismuunnoksen sijaan. Samaten moduloinnin tilalla on luonnollisesti demodulaatio.



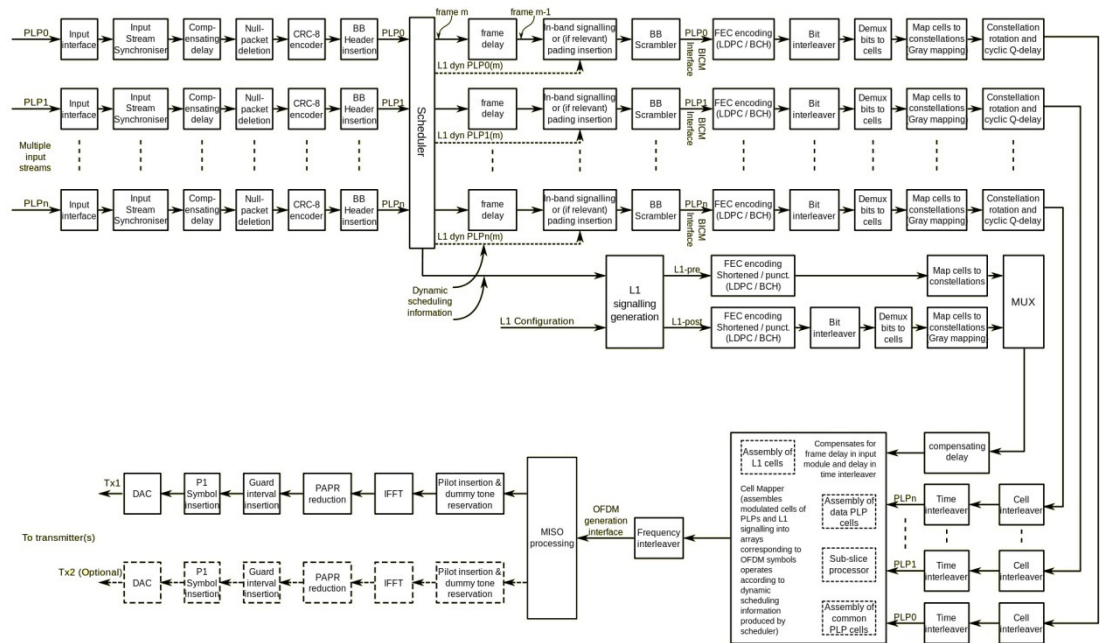
Kuva 9. DVB-T-vastaanottimen lohkokaavio

### 3.3 DVB-T2-standardin tuomat muutokset

Lyhenteellä DVB-T2 tarkoitetaan toisen sukupolven DVB-T-standardia (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial second edition*) [8]. Monilta osin DVB-T2 on erittäin lähellä ensimmäisen sukupolven DVB-T-standardia, ja monivaiheisemmasta lohkokaaviosta huolimatta (kuva 10) lähetyspään peruselementit ovat samat. Tämän insinööriyön kannalta tärkeimmät uudistukset ovat *Physical Layer Pipe* (PLP) -nimellä kulkeva



konsepti sekä kehittyneemmät virheenkorjausmenetelmät ja uudet modulaatiovaihtoehdot. Muuten DVB-T2-standardi on tuonut pääasiassa lisää vaihtoehtoja useisiin lähetyksparametreihin (taulukko 1).



Kuva 10. DVB-T2-standardin mukaisen lähetyksen lohkokkaavio

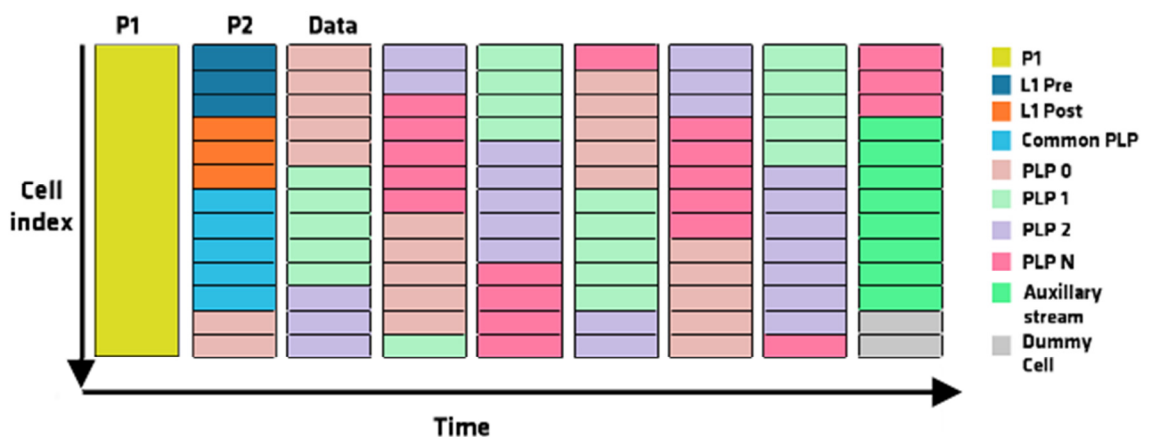
Virheenkorjauksen kehittyminen on mahdollistanut korkeampien modulaatioiden käytön. DVB-T2-lähetyksverkoissa voidaan käyttää 256-QAM-modulaatiota olosuhteissa, joissa DVB-T-lähetyksverkoissa voidaan käyttää vain 64-QAM-modulaatiota. DVB-T2-standardin myötä lähetyksverkkojen kapasiteetti on noussut huomattavasti. Esimerkiksi Isossa-Britanniassa käytössä olleen DVB-T-lähetyksverkon kapasiteetti oli 24,13 Mbit/s modulaation ollessa 64-QAM, virheenkorjaussuhteen ollessa 2/3 ja suojavälin ollessa 1/32. Verkon kapasiteetti nousi 46,5 prosenttia ja saavutti nopeuden 35,4 Mbit/s, kun verkko muutettiin DVB-T2-standardin mukaiseksi, jolloin modulaatioksi tuli 256-QAM, virheenkorjaussuhteeksi 3/5 ja suojaväliksi 1/16. Digi-tv-järjestelmän kapasiteetin laskemisesta kerrotaan tarkemmin kohdassa 3.5.

Taulukko 1. DVB-T- ja DVB-T2-standardien erot

PARAMETER	DVB-T	DVB-T2
Virheenkorjaus (FEC)	Konvoluutiokoodaus + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LDPC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modulaatio	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Suojaväli	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
Discrete Fourier Transform (DFT) size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Hajautetut Pilotti signaalit	8%	1%, 2%, 4%, 8%
Jatkuvat Pilotti signaalit	2.6%	0.35%

### 3.3.1 Physical Layer Pipe

*Physical Layer Pipe* eli PLP tarkoittaa konseptia, jossa informaatio siirretään loogisia kanavia pitkin. PLP:lle voidaan varata joustavasti resursseja T2-kehyksien sisällä kuten kuvassa 11. Jokaiseen PLP:hen voidaan soveltaa erilaista lähetysparametrien arvojen yhdistelmää. Esimerkiksi PLP:t, joilla on tarkoitus välittää SD-laatuista kuvaa vaikeiden olosuhteiden yli, voidaan lähettää vikasietoisemmalla yhdistelmällä kuin PLP:t, joilla samaan aikaan lähetetään HD-tasoista kuvaa lähelle hyvän laatuksella siirtotiellä. Edellä mainitussa tapauksessa SD-kuva voidaan lähettää esimerkiksi käyttäen 64-QAM-modulaatiota ja pitempää suojaväliä, ja HD-kuva puolestaan käyttäen 256-QAM-modulaatiota ja lyhyempää suojaväliä.



Kuva 11. Resurssien jakoa PLP:lle [9]

### 3.3.2 LDPC

LDPC, eli *Low-density parity-check code* on kehittynyt virheenkorjausmetodi, joka sopii käytettäväksi tiedonsiirtojärjestelmissä, joissa suuria bittinopeuksia siirretään häiriöisen siirtotien yli [10]. LDPC kuuluu lineaaristen virheenkorjauslohkokokoodien ryhmään ja perustuu matriisilaskentaan. LDPC:n dekoodaaminen on yksinkertaista verrattuna esimerkiksi perinteisiin turbokoodeihin, joten se mahdollistaa suuret bittinopeudet.

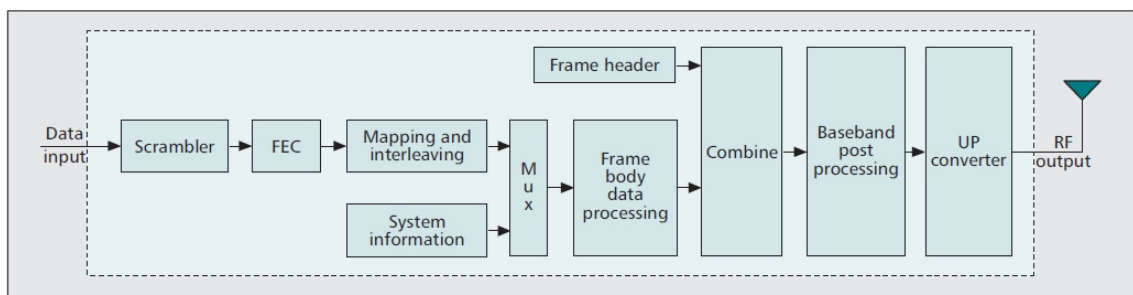
### 3.3.3 BCH

BCH:lla tarkoitetaan syklisiin virheenkorjauskoodeihin kuuluvaa koodaustapaa. Lyhenne BCH tulee sen virheenkorjausmetodin keksineiden henkilöiden sukunimistä Bose, Chaudhuri ja Hocquengham [11].

## 3.4 DTMB-tekniikan perusteet

### 3.4.1 Yleistä DTMB-standardista

Lyhenne DTMB tulee sanoista *Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*, ja sillä tarkoitetaan kiinalaista digi-TV-standardia [12]. Aikaisemmin standardi tunnettiin nimellä DMB-T/H, joka oli lyhenne sanoista *Digital Multimedia Broadcast Handheld*. Teknisesti DTMB-standardi muistuttaa DVB-T- ja DVB-T2-standardeja ja sijoittuu monilta ominaisuuksiltaan johonkin niiden välimaastoon. Kuten kuvasta 12 havaitaan, DTMB-standardin mukaisessa lähetyspään lohkokaaviossa on huomattavan paljon yhtäläisyyksiä DVB-T-standardiin. Esimerkiksi *Baseband post processing* -lohkossa symboleille tehdään IDFT-muunnos, samaan tapaan kuin DVB-T-standardissa.



Kuva 12. DTMB-lähetyspään lohkokaavio

Virheenkorjaukseen DTMB-standardissa käytetään LDPC:tä ja BCH:ta. Modulaatiovaihtoehtoina ovat 64-QAM, 32-QAM, 16-QAM, 4-QAM ja 4-QAM-NR. Lyhenne QAM-NR tulee sanoista *Quadrature Amplitude Modulation - Nordstrom-Robinson*. Digitaalisen signaalin luomiseen DTMB:ssä käytetään TDS-OFDM:ää, joka on miltei yhtenevä normaaliin OFDM:ään. TDS-OFDM-lyhenteellä tarkoitetaan *Time Domain Synchronous - Orthogonal Frequency Division Multiplexing* -nimistä kanavointitekniikkaa [13]. Suojaväliä on hyödynnetty synkronoisessa lisäämällä siihen kehyksen otsake. Alikantaaaltojen määrälle standardi määrittelee kaksi eri vaihtoehtoa. *Single carrier* -moodissa kantaaltaa on vain yksi ja *multi carrier* -moodissa alikantaaaltoja on 3780.

### 3.4.2 Kehysrakenne

DTMB-kehysrakenne on kolmiosainen [14]. Kehyksen runko muodostuu 3744 QAM-moduloidusta symbolista. Nämä symbolit kuljettavat varsinaisen hyötykuorman. Kun kehyksen runko-osaan lisätään 36 *system information* -symbolia, muodostuu 3780 symbolia käsittävä kehys. Signaalikeykseksi kutsutaan kehystä, johon on lisätty eteen kehyksen otsake.

### 3.4.3 Suojaväli, kehyksen otsake ja TDS-OFDM

*Frame body data processing* -lohkon jälkeen kehykseen yhdistetään kehyksen otsake. Kehyksen otsakealue toimii samalla myös suojavälinä. Otsake voi olla joko 420, 595 tai 945 symbolin pituinen, sen modulaatio on aina 4-QAM. Otsakesymbolit lähetetään kaksinkertaisella teholla muihin symboleihin nähden, mikä helpottaa ja nopeuttaa huomattavasti synkronointia [15]. Toinen merkittävä synkronointia nopeuttava piirre on PN-jaksojen käyttö otsakkeen eli suojavälin sisältönä sen sijaan, että DVB-T-standardien tapaan käytettäisiin seuraavan symbolin lopusta kopioitua jaksoa. PN-lyhenne tulee sanoista *Pseudo Noise*.

PN-jakso (*Pseudo Noise sequency*) on näennäisesti sattumanvarainen signaalijakso [16]. Digi-tv-järjestelmän tapauksessa kyseessä on luonnollisesti bittijakso, joka on näennäisesti sattumanvarainen. Jakso on kuitenkin satunnainen vain käytetyn osan pituudelta, mutta itse jakso itse asiassa toistuu loputtomiin. Esimerkiksi, kun tarkastellaan yhtä signaalikeyhystä, otsakkeen symbolit näyttävät satunnaisilta, mutta tarkasteltaessa useamman signaalikeyhksen matkalta, huomataan, että sama

symbolijakso toistuu otsakkeessa jatkuvasti. PN-jaksojen tärkeä ominaisuus on, että kahdella samanlaisella jaksolla on erittäin vahva autokorrelaatio, joten niiden vaihe on helppo synkronoida, vaikka signaalit olisivat kärsineet siirtotien häiriöistä.

Lyhenteessä TDS-OFDM termi TDS viittaa siihen, että OFDM-signaalien synkronointi tapahtuu aikatasossa edellisessä kappaleessa kuvattujen PN-jaksojen avulla. Muuten TDS-OFDM on identtinen DVB-T:ssä käytetyn OFDM:n kanssa.

### 3.5 Digit-TV-lähetyksen kapasiteetti

Riippumatta lähetyksstandardista olosuhteet, joissa tietoa on tarkoitus välittää, määrittelevät, millaisia arvoja lähetyksparametrit voivat saada. Korkeuseroiltaan vähäisellä peltoalueella, jossa ei esimerkiksi monitie-etenemistä esiinny juuri ollenkaan, voidaan käyttää erilaista suojaväliä kuin tiheään rakennetulla kaupunkialueella, jossa signaali ei lähtökohtaisesti etene suoraan. DVB-T2-standardien mukaisten lähetyksverkkojen brutto- ja nettolähetykskapasiteetti lasketaan kaavoilla 2 ja 3. Muiden standardien kapasiteettilaskut noudattelevat samoja periaatteita pienillä eroilla. Tarkkaan ottaen jos halutaan laskea puhtaasti esimerkiksi TV-lähetykseen välittämiseen käytössä oleva siirtokapasiteetti, pitää bruttokapasiteetista poistaa myös signalointitiedon viemä osa, joka on DVB-T-standardilla noin kymmenen prosenttia ja olosuhteista riippuen DVB-T2-standardilla 1,35 prosentin ja 8,35 prosentin välillä.

$$R_b = n \cdot k \cdot \frac{1}{T_t} \quad (2)$$

$$R_n = R_b \cdot R_c \cdot Gi \quad (3)$$

$R_b$	Bruttokapasiteetti (b/s)
$R_n$	Nettokapasiteetti (b/s)
$n$	Alikantoaaltojen taajuuksien määrä
$k$	Bittinä/taajuus
$T_t$	Symbolin kesto
$\frac{1}{T_t}$	Symbolin toistonopeus
$R_c$	Koodaussuhde
$Gi$	Suojavälin suhde

Käytetään laskuesimerkissä seuraavia lähetysparametrejä. Modulaationa käytetään 256-QAM-modulaatiota eli yksi symboli kuvaa kahdeksaa bittiä. Symbolin kesto on neljä millisekuntia, jolloin toistonopeudeksi tulee 250 kHz. Alikantoaaltojen määrä 32k-moodissa on 27265. Koodaussuhteeksi valitaan 3/5 ja suojaväliksi 1/16. Näin ollen bruttobittinopeudeksi tulee noin 54,5 Mbits/s (kaava 4). Nettokapasiteetiksi puolestaan saadaan noin 30,6 Mbits/s (kaava 5).

$$27265 \cdot 8 \text{ b} \cdot 250 \text{ kHz} = 54530000 \text{ b/s} \quad (4)$$

$$54530000 \frac{\text{b}}{\text{s}} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{15}{16} = 30673125 \quad (5)$$

## 4 MPEG-TS-siirtovirran rakenne

### 4.1 Yleistä MPEG-standardista

MPEG-standardi koostuu viidestä eri standardista. Standardit ovat MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4, MPEG-7 sekä MPEG-21. Standardit määrittelevät joukon video- ja audiodatan pakkausmuotoja sekä näihin liittyvät siirtovirrat, joita käytetään datan siirrossa. Tämän insinööriyön kannalta tärkein standardi on MPEG-2 osa 1, eli virallisesti *Generic coding of moving pictures and associated audio information* (ISO/IEC 13818-1). MPEG-2/1-standardi määrittelee MPEG-siirtovirran, eli *MPEG Transport Streamin*, joka tavallisesti lyhennetään merkinnällä MPEG-TS. Digi-TV-järjestelmiin liittyy olennaisesti myös MPEG-standardien määrittelemät käsitteet ES ja PES. Lyhenne ES tulee sanoista *Elementary Stream* ja PES puolestaan sanoista *Packetized Elementary Stream*. ES:llä viitataan TV-ohjelmaan liittyvään video-, ääni- tai muuhun dataan, joka tulee suoraan kooderilta. PES puolestaan tarkoittaa ES:ää, joka on jaettu paketteihin eli paketoitu lisäämällä ES-datajakson ympärille PES-otsakkeet. PES-pakettien jälkeen siirtoa tai tallennusta, esimerkiksi tv-lähetystä tai DVD:lle tallennusta, varten PES-paketeista muodostetaan siirtovirta eli TS lisäämällä PES-paketin eteen vähintään TS-otsake.

## 4.2 Yleistä MPEG-siirtovirrasta

MPEG-siirtovirta koostuu 188 tavun mittaisista paketeista [17]. Paketit tunnistetaan erityisen *Packet Identifier*, eli PID-kentän avulla. Kenttä on 13 bittiä pitkä ja sijaitsee TS-paketin otsake- eli *header*-osassa. Otsakealueen lisäksi TS-paketissa on neljä erittäin tärkeää osaa: hyötykuormaosa, kaksi ohjelmatietoa sisältävää taulua ja niin kutsuttu *adaptation field*, eli sovituskenttäosa. Koska sekä sovituskenttä- että ohjelmatietoa sisältävät taulut PAT ja PMT ovat vaihtelevan pituisia tai niitä ei ole ollenkaan, vaihtelee myös hyötykuorman osan, eli *Payload*-osan pituus. Se voi olla enimmillään 184 tavua. Tämän insinööriyön kannalta merkillepantavaa MPEG-standardissa on, että se ei ota millään tavalla kantaa hyötykuorman sisältöön, vaan se voi olla käytännössä mitä tahansa binäärimuodossa olevaa tietoa.

## 4.3 MPEG-TS-paketin otsakkeen rakenne

Jokaisen MPEG-TS-paketin neljä ensimmäistä tavua on varattu otsaketiedoille. Neljän tavun mittaisesta otsake- eli *header*-kentästä ensimmäiset kahdeksan bittiä on varattu synkronisointitavulle. Synkronointitavun arvo on aina 0x47. Seuraavat kolme bittiä ovat *Transport Error Indicator*, *Payload Unit Start Indicator* ja *Transport Priority* -bitit. Näiden bittien arvot riippuvat tilanteesta. *Transport Error Indicator* -bitti on näistä kolmesta bitistä tärkein, sillä sen avulla välitetään tieto korjaamattomista bittivirheistä vastaanottojärjestelmän korkeammille tasoille. *Transport Error Indicator* -bitti on lähtökohtaisesti nolla, mutta saattaa dekooderissa saada arvon 1, mikäli datajaksossa havaitaan virhe. *Transport Priority* -bitti on harvemmin käytetty, eikä ole välttämätön normaalitilanteessa. *Payload Unit Start Indicator* -bitillä välitetään tieto, aloittaako kyseinen paketti esimerkiksi TV-ohjelman tai muun PES-paketeista koostuvan kokonaisuuden.

Seuraavat 13 bittiä on varattu *Packet ID*:lle eli PID:lle. PID:n perusteella tietovirrasta tunnistetaan kuhunkin ohjelmaan tai palveluun kuuluvat datapaketit. PID-bittien jälkeen otsakkeessa tulevat *Scrambling controlin* kaksi bittiä, *Adaptation field exist* -kentän kaksi bittiä ja *Continuity counterin* neljä bittiä. *Scrambling control* -bitit ilmaisevat, onko kyseisen paketin sisältämä hyötykuorma salattu parittomalla vai

parillisella salausavaimella vai onko sisältö salaamatonta. *Adaptation field exist* -kenttä kertoo, onko paketissa mukana hyötykuormaa vai sovituskenttä vai löytyykö paketista molemmat. *Continuity counter* ilmaisee samalla PID:llä olevien pakettien keskinäisen järjestyksen. Taulukosta 2 ilmenevät otsakealueen kenttien tarkoitukset.

Taulukko 2. MPEG-TS-pakettien otsakekenttien selitykset

Kentän nimi	Kentän pituus (bittinä)	Selitys ja mahdolliset bittiarvot
Synkronointikenttä	8	0x47
Transport Error Indicator	1	1 jos demodulaattori ei onnistu korjaamaan kaikkia havaittuja virheitä lähetyksessä
Payload Unit Start Indicator	1	1 jos paketti aloittaa PSI tai PES:n
Transport Priority	1	1 Jos paketilla on korkeampi prioriteetti kuin muilla samalla PID:llä merkityillä paketeilla
PID	13	Paketin PID
Scrambling control	2	"00" - Ei salausta "10" - Salattu parillisella avaimella "11" - Salattu parittomalla avaimella
Adaptation Field exist	2	"01" - Ei adaptation kenttää "10" - Vain adaptation kenttä "11" - Adaptation kenttä ja hyötykuorma
Continuity Counter	4	Kasvatetaan jos paketissa mukana hyötykuorma

#### 4.4 Adabtation field

*Adabtation field* eli sovituskenttä (taulukko 3) tulee tarvittaessa heti neljän otsaketavun jälkeen. Sovituskenttää käytetään muun muassa kuljettamaan tieto ohjelmien synkronoimiseen käytetyn kellon arvosta. Kutakin ohjelmaa varten on oma TS-paketti, joka sisältää sovituskentän ja tiedot kellosta. Sovituskenttä voi sisältää myös tiedon *Elementary streamin* prioriteetista verrattuna muihin virtoihin. Mikäli TS-paketissa ei ole sovituskentän lisäksi mitään hyötykuormaa, sovituskentän jälkeinen tyhjä tila paketissa täytetään täytetävuilla (*stuffing bytes*). Täytetävujen arvo on aina 0x00.



Taulukko 3. Sovituskentän sisältämien kenttien selitykset

Kentän nimi	Kentän pituus bitteinä	Selitys
Adaptation Field Length	8	Ilmaisee tämän tavun jälkeen sovituskentässä tulevien bittien lukumäärän.
Discontinuity indicator	1	Ilmaisee onko kyseinen TS paketti epäjatkuvuustilassa verrattuna jatkuvuus laskuriin(continuity counter) tai PCR:ään.
Random Access indicator	1	Tämän bitin arvo on 1 jos PES paketti tässä TS paketissa aloittaa video/ääni jakson.
Elementary stream priority indicator	1	Tämän bitin arvo on 1 jos elementary streamin prioriteti on suuri.
PCR flag	1	1 jos sovituskenttä sisältää PCR kentän.
OPCR flag	1	1 jos sovituskenttä sisältää OPCR kentän.
Splicing point flag	1	1 Jos adaptation kentässä on liitos laskuri kenttä mukana.
Transport private data flag	1	Tämän bitin arvo on 1 jos sovituskentässä on yksityisiä data bittejä.
Adaptation field extension flag	1	1 jos sovituskenttä sisältää laajennuskentän.
PCR	0 tai 33+9	Kenttä sisältää kopion lähetykseen kello-laskurin arvosta paketin lähetyshetkellä. Tietoa käytetään vastaanoton kellon synkronoinnissa.
OPCR	0 tai 33+9	Tämä kenttä sisältää viittauksen alkuperäiseen ohjelman kelloon. Tätä tietoa käytetään kun TS kopioidaan.
Splice countdown	0 tai 8	Kertoo monenko TS paketin päässä liitoskohta sijaitsee. Arvo voi olla myös negatiivinen.
stuffing bytes	Vaihtelee	Täytetavut. Täytetavujen avulla paketista saadaan vaaditun 188 tavun mittainen. Täytetavujen arvo on 0xFF.

#### 4.5 Program association table

*Program association table*, eli PAT on toinen standardissa määritellyistä ohjelmatietoa välittävistä tauluista [18]. PAT-taulua kuljettavan TS-paketin PID:n arvo on aina 0x0000 ja *Table ID* -kentän eli taulutunnistekentän arvo on aina 0x00. Näiden kahden ID:n avulla taulu tunnistetaan (taulukko 4). Tärkeimmät kentät tunnisteiden lisäksi PAT-taulussa ovat *Program number* ja *Program PID*. *Program number* -kenttä kertoo, mihin ohjelmaan, esimerkiksi TV-1, *Program PID*-kentän arvo liittyy. *Program PID* -kenttä kertoo, millä TS-paketin PID-arvolla löytyy kyseiseen ohjelmaan, tässä tapauksessa TV-1, liittyvä PMT-taulu. PAT-taulun lopussa olevan CRC-32-tarkistussumman avulla havaitaan mahdolliset bittivirheet ja varmistetaan taulun sisältämien tietojen paikkansapitävyys.

Taulukko 4. PAT-taulun sisältämien kenttien selitykset

Kentän nimi	Kentän pituus (bittinä)	Selitys
Pointer field	8	Käytössä jos paketti aloittaa TS hyötykuorman
Table ID	8	PAT taululla aina 0x00
Section syntax indicator	1	PAT taululla aina 1
Ei käytössä	1	PAT taululla aina 0
Varattu	2	PAT taululla aina 11
Section length	2+10	Kertoo taulun loppujen tavujen määrän.
Transport stream ID	16	Kertoo transport streamin ID:n
Varattu	2	PAT taululla aina 11
Version number	5	Kertoo taulun versionumeron. Arvo kasvaa yhdellä kun taulun sisältämä tieto muuttuu
Current/next indicator	1	1 jos taulun tiedot ovat ajankohtaisia
Section number	8	Kertoo tämän PAT taulu osion järjestysnumeron suhteessa muihin PAT taulu osioihin
Last section number	8	Viimeisen PAT-tauluosion järjestysnumero
Program number	16	Kertoo ohjelman numeron
Varattu	3	PAT taululla aina 111
Program PID	13	PMT taulut sisältävien pakettien PID arvot
CRC32	32	32 bittinen crc tarkistus arvo

#### 4.6 Program Map Table

*Program Map Table* eli PMT-tilu väliää iieuu iieuu uueu uueu PES-paketteja sisällään pitävät TS-pakettien PID:t [18]. PMT-tilu kertoo myös, millaista ES:ää tietyllä PID:llä merkitty TS-paketti pitää sisällään. PMT-tilussa *Table ID* -kentän arvo on aina 0x02. Tämän avulla PMT-tilut erotetaan muista tiluista. Kuten PAT-tilun myös PMT-tilun pituus vaihtelee. Taulun pituus riippuu siitä, mitä kaikkea tietoa kyseisestä ohjelmasta se sisältää. Taulukossa 5 on eritelty tarkemmin PMT-tilun kentät.

Varsinaisen TV-ohjelmainformaation, kuten videokuvan, äänen ja tekstityksen, muodostavien bittien löytäminen TS-pakettien virrasta menee siten, että ensin etsitään TS-paketti, jonka sisältämä hyötykuorma koostuu PAT-tilusta, jossa on haluttua ohjelmaa, esimerkiksi TV-1, vastaava numero. PAT-tilussa olleen PID-tiedon perusteella etsitään TS-paketti, joka pitää sisällään PMT-tilun ja PMT-tilun tietojen perusteella siirtovirrasta puretaan TS-paketit, jotka sisältävät halutun ohjelman elementit.

Taulukko 5. PMT-aulun sisältämien kenttien selitykset

Kentän nimi	Kentän pituus (bittinä)	Selitys
Pointer field	8	PMT taululla arvo yleensä aina 0x00
Table ID	8	PMT taululla arvo aina 0x02
Section syntax indicator	1	
Always set to 0	1	PMT taululla arvo aina 0x0
Varattu	2	PMT taululla arvo aina 11
Section length	2+10	Kertoo taulun loppujen tavujen määrän.
Program number	16	Kertoo PMT taulun liittyvän ohjelman numeron
Varattu	2	
Version number	5	Arvo kasvaa aina taulun sisältämän tiedon muuttuessa
Current/Next indicator	1	1 jos taulun tiedot ovat ajankohtaisia
Section number	8	PMT taululla arvo aina 0x00
Last section number	8	PMT taululla arvo aina 0x00
varattu	3	
PCR PID	13	Yleisen aikakoodin sisältävän paketin PID
Varattu	4	
Program info length	2+10	Kertoo seuraavien kenttien pituuden
Stream type	8	
Varattu	3	PMT taululla arvo aina 111 binääri
Elementary PID	13	
Varattu	4	
ES Info length	2+10	
ES Descriptor		
CRC32	32	32 bittinen crc tarkistus arvo

## 5 Digi-TV-järjestelmät

### 5.1 Digi-TV-lähetys ja vastaanotto

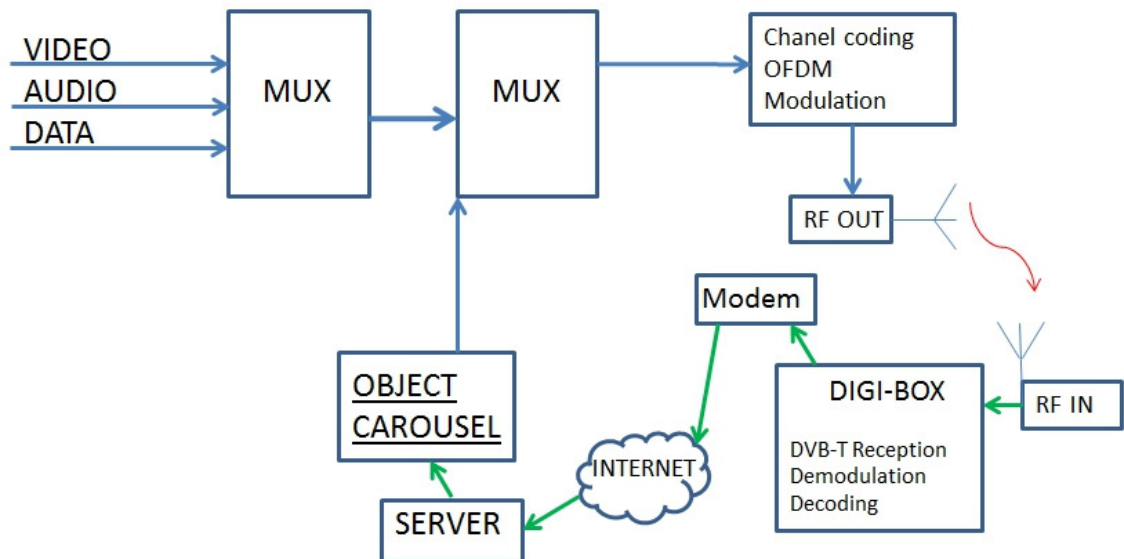
Digi-TV-kanavat, kuten TV-1 ja MTV3, välitetään niin sanotuissa kanavanipuissa. Suomessa kanavanippuja on käytössä 11 tai on varattu taajuuskaista 11 kanavanipulle. Kanavanipuista A-H toimivat UHF-taajuusalueella, ja niiden kaistanleveys on 8 MHz. Kanavanipuista kolme, VHF A, VHF B ja VHF C, toimivat VHF-taajuusalueella, ja niiden kaistanleveys on 7 MHz. VHF-taajuusalue kattaa taajuudet 30-300 MHz ja UHF-alue taajuudet 300-3000 MHz. Suomessa kanavanippujen keskitaajuudet sijoittuvat välille 177,5 MHz – 786 MHz [19]. Kiinassa alueilla, joissa tämän projektin yhteydessä toimittiin, käytössä oli TV-lähetyksiin käytetyn UHF-alueen yläpäästä taajuusalue, jonka keskitaajuus oli 706 MHz ja kaistanleveys 8 MHz.

Digi-TV-lähetys toimii pelkistetyt siten, että ensin kunkin ohjelman ääni ja kuvavirrat pakataan. Esimerkiksi DVB-T-standardissa käytetään MPEG-2-pakkausta ja DMBT- sekä DVB-T2-standardeissa käytetään MPEG-4-pakkausta. Tämän jälkeen kompressoitu video- ja ääni-informaatio multipleksoidaan yhdessä TV-ohjelman muun datan, esimerkiksi tekstitystiedon, kanssa yhdeksi tietovirraksi, jota kutsutaan ohjelmavirraksi (*program stream*). Seuraavassa vaiheessa useampi ohjelmavirta multipleksoidaan yhdeksi siirtovirraksi (*transport stream*). Viimeisessä vaiheessa tieto muutetaan siirtotielle sopivaan muotoon kanavakoodaamalla ja moduloimalla. Lopuksi se lähetetään radiotaajuudella vastaanottajalle. Kunkin standardin mukaista kanavakoodausta ja modulointia on käsitelty tarkemmin luvussa 3.

Digitaalisen TV-lähetyksen vastaanotto alkaa virittimestä, jonka avulla vastaanottolaitteet, kuten digi-boksit, ottavat vastaan radiotaajuisen analogisessa muodossa olevan signaalin halutun kanavanipun taajuudelta. Seuraavaksi digitaalinen informaatio puretaan signaalista demoduloimalla. Tämän jälkeen bittivirrasta yritetään havaita ja korjata mahdolliset virheet dekodauksella. Seuraavassa vaiheessa siirtovirrasta tunnistetaan haluttuun sisältöön liittyvät datapaketit PAT- ja PMT-taulujen avulla. Viimeisessä vaiheessa, ennen mahdolliselle näyttölaitteelle syöttämistä, TS-paketeista purettu informaatio puskuroidaan laitteen muistiin, jotta se on käyttövalmiina järkevän kokoisena kokonaisuutena, esimerkiksi kokonaisina kuvina.

## 5.2 Objektikaruselli

Vuosituhanen alussa, kun Suomessa siirryttiin digitaalisiin TV-lähetyksiin, vallalla oli ajatus, että digi-TV-tekniikalla mahdollistettaisiin kaksisuuntaiset palvelut loppukäyttäjille. Tähän tarkoitukseen kehitettiin niin sanottu objektikaruselli. Käytännössä objektikaruselli on palvelin, johon on valmiiksi ladattu sisältöä, esimerkiksi verkkosivuja, TV-ohjelmia tai mitä tahansa muuta digitaalista informaatiota. Ideana oli, että TV-lähetyksen vastaanottaja voisi erityisen paluukanavan kautta tilata objektikarusellista lisäsisältöä, joka välitettäisiin TV-lähetyksen yhteydessä ja näkyisi siten vastaanottajan televisiossa (kuva 13). Objektikarusellin käyttö jäi aikanaan lähinnä kokeiluprojektien asteelle, mutta tekniikka kuitenkin liitettiin digi-TV-lähetysverkkoihin.

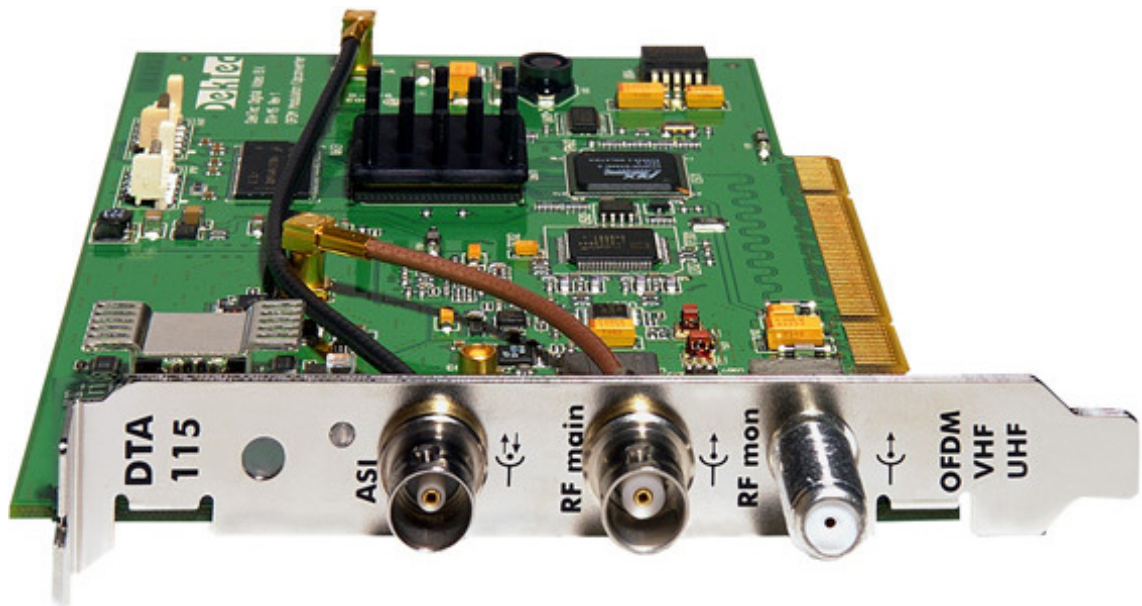


Kuva 13. Lähetyjärjestelmä, jossa on mukana objektikaruselli

## 6 Testiympäristö

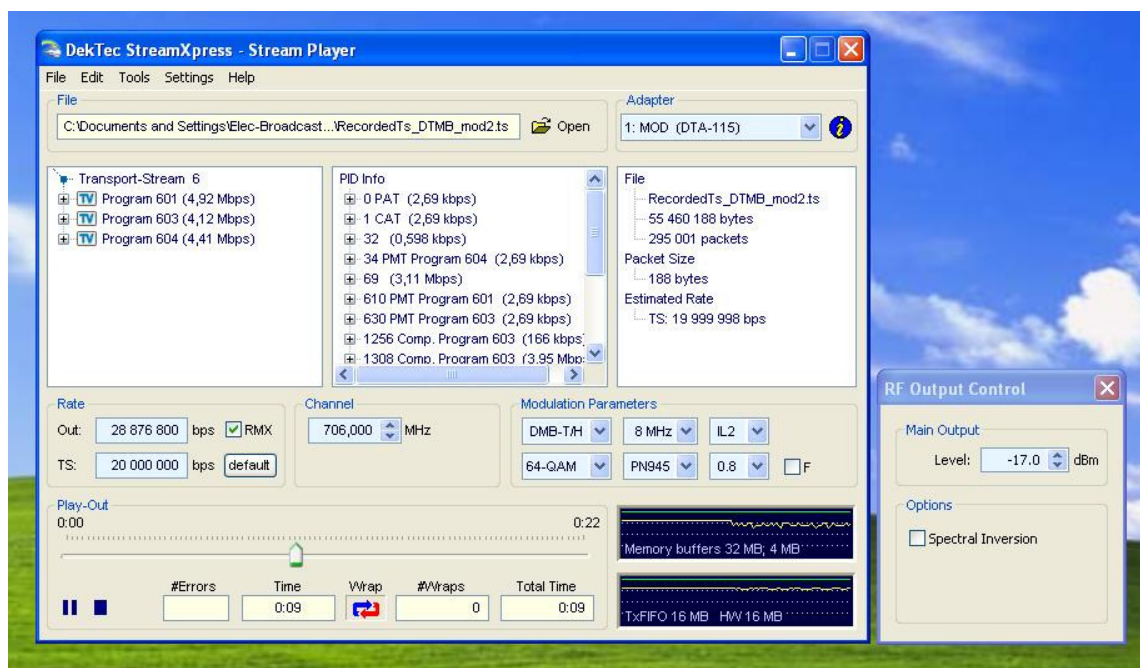
### 6.1 Lähetyt

Testilaitteiston avulla voitiin testata sekä DVB-T- että DTMB- standardeilla toteutettua tiedonsiirtoa. Lähetyssä käytössä oli DecTec Digital Video -yrityksen valmistama, tietokoneen pci-väylään sopiva DTA-115-modulointikortti (kuva 14).



Kuva 14. Dectec DTA 115 -modulaattorikortti

Modulointikortti oli erittäin monipuolinen pienestä koostaan huolimatta. Se tuki laajaa taajuusaluetta, joka kattoi sekä UHF- että VHF-alueet. Modulointikorttia käytettiin saman yrityksen tekemällä Stream Xpress -nimisellä ohjelmalla (kuva 15). Riippuen ohjelmaan hankitusta lisenssistä modulaattorikortti saatiin tukemaan suurta määrää digi-TV-standardeja, modulaatioita ja virheenkorjauskoodauksia. Ohjelmasta saattoi myös säätää modulaattorin lähetystehoä. Testiympäristössä käytössä olleella ohjelmalisenssillä saatiin tuki DVB-T- ja DTMB-standardeille. Kehitetyn tiedonsiirtotavan testaaminen DVB-T2-ympäristössä suoritettiin yhteistyökumppani DNA:n tuotantokäytössä olevalla lähetysjärjestelmällä. Testiympäristössä käytettiin sekä vastaanottopäässä että lähetyspäässä kuvassa 16 olevaa kotikäyttöön tarkoitettua antennia. Johtuen käytössä olleen antennin heikohkoista ominaisuuksista testaus aloitettiin yhdistämällä lähetinpää vastaanottoon normaalilla koaksaalikaapelilla. Kaapelin käytön kannalta Strema Xpres -ohjelmassa oleva mahdollisuus säätää lähetystehoä oli välttämätön, sillä vastaanottimelle päätyi suurempi osa lähetystehosta kuin antennilla lähettäessä.



Kuva 15. DecTec StreamXpress -ohjelman käyttöliittymä DTMB-moodissa

## 6.2 Vastaanotto

DVB-T- ja DVB-T2-tekniikalla lähetettyjen signaalien vastaanottoon käytettiin PCTV Systemsin valmistamaa, USB-väylään sopivaa PCTV nanoStick T2 209e -viritintä (kuva 16). Lähetetyn siirtovirran tutkimista varten DVBStreamExplorer3-nimisen ohjelman avulla virittimeltä saatiin talteen TS-virta sellaisenaan, kuin se oli heti virheenkorjauksen jälkeen. TV-viritintä käytettiin Packard Bellin valmistamalla kannettavalla tietokoneella. Käyttöjärjestelmänä kannettavissa tietokoneissa oli Linux Ubuntu. Linuxin käyttö mahdollisti järjestelmän helpomman räätälöinnin projektin tarpeisiin.

DTMB-tekniikalla suoritettun lähetyksen vastaanottamista testattiin kiinalaisen Nerc-DTV yrityksen valmistamalla USB-väylää käyttävällä digi-TV-virittimellä. Ongelmaksi DTMB-standardin mukaisen virittimen kohdalla muodostui tuotteen uutuus, sillä sille ei ollut vielä virallisia ajureita Linux-käyttöjärjestelmälle. Ongelma ratkaistiin kirjoittamalla laitteelle ajurit projektin aikana. Työtä helpotti standardien ja käytettyjen teknisten ratkaisujen samankaltaisuus. Esimerkiksi niin sanottu USB-silta viritintikussa oli samantapainen kuin yleisimminkin käytetyissä laitteissa. Luonnollisesti myös virheenkorjauksen ja moduloinnin taustalla oleva matematiikka oli samanlaista, ja sitä varten oli olemassa valmiit ohjelmistokirjastot.



Kuva 16. PCTV nanoStick T2 209e ja antenni

### 6.3 Tiedonsiirrossa ilmenneet ongelmat

Vaikka projektin aikana ei törmätty missään vaiheessa minkäänlaisiin ylitsepääsemättömiin ongelmiin tiedonsiirrossa, yllättäviä ongelmia kuitenkin aika-ajoin tuli vastaan. Niin kauan, kun tiedonsiirtoa ja TV-lähetystä kokeiltiin puhtaasti testilaboratorion sisällä, ainoaksi ongelmaksi muodostui lähetykseen käytetty kuvassa 16 oleva antenni, joka oli ilmeisesti ominaisuuksiltaan lähetykskäyttöön sopimaton. Tämä ongelma oli kuitenkin odotettu ja helppo kiertää käyttämällä tarvittaessa kaapelia lähetysten ja vastaanoton välillä.

Siirryttäessä testaamaan tiedonsiirtoa käyttäen DNA:n oikeaa lähetyksjärjestelmää esiin tuli yllättävämpi ongelma, nimittäin nykyaikaiset energiaa säästävät rakennusmääräykset ja Digita Oy:n pitkään kestänyt valta-asema ainoana TV-lähetysoperaattorina. Rakennuksessa, jossa testilaboratorio sijaitsi, oli nykyaikaiset lämpöä erittäin tehokkaasti eristävät selektiivi-ikkunat. Selektiivi-ikkunoissa on useita lasikerroksia, joiden pinnalla on läpinäkyvä metalli- tai metallioksidipinnoite, joka eristää tehokkaasti lämmön sisään eristäen samalla radiotaajuiset signaalit erittäin tehokkaasti ikkunan ulkopuolelle. Ikkunoiden tehokas eristävyys yhdistettynä viestintäviraston DNA:lle asettamiin lähetystehorajoituksiin esti käytännössä DNA:n TV-lähetysten vastaanottamisen laboratoriossa. DNA:n Oulunkylän lähettimen lähetysteho on esimerkiksi vain 1800 W, kun esimerkiksi Digita Oy:n Espoon lähetyksaseman lähetysteho on peräti 50 kW [20]. Ongelma ratkesi vasta, kun rakennuksen katolla sijaitsevaan antenniin asennettiin toinen haara, joka oli suunnattu DNA:n lähettimeen. Toinen vanhempi haara antennissa oli suunnattu Digitan lähettimeen. Tällä tavoin DNA:n lähetyssignaali saatiin vastaanotettua laboratorioon kattoantennilta kaapelin avulla. Muutoin projektin tiedonsiirto-osuudessa ilmenneet ongelmat rajoituivat lähetyspään objektikarusellin ohjelmiston ajoittaiseen kaatumiseen, mutta tämäkin oli toisaalta odotettavissa, sillä kyseessä oli melko vanha ohjelmisto vuosikymmenen alkupuolelta.



## 7 Datansiirto

### 7.1 Datansiirron pääperiaatteet

Käytetyssä tiedonsiirtomallissa sähköisen sanomalehden sivuja edustavat kuvatiedostot pakataan yhdeksi ZIP-tiedostoksi. ZIP-tiedostolla tarkoitetaan pakkausalgoritmilla pakattua yhden tai useamman tiedoston sisällään pitävää tiedostoa. Riippuen pakattavasta tiedostotyypistä pakkauksella voidaan säästää helposti kymmeniä prosentteja tallennustilaa tai siirtokapasiteettia. Pakkaamisen jälkeen Zip-tiedosto puolestaan muutetaan TS-tiedostoksi sitä varten tehdyllä erityisellä *ts-creator* -nimisellä ohjelmalla. Tässä vaiheessa TS-paketteihin listattään myös sanomalehden välittämiseen varattu PID. Ohjelma kehitettiin erikseen tätä projektia varten, ja sen ensimmäisen kehitysversion koodi löytyy liitteestä 1.

Syntynyt TS-tiedosto syötetään tämän jälkeen DNA:n lähetysjärjestelmän objektikaruselliin. Objektikaruselli syöttää TS-tiedoston tasaisin väliajoin multiplekserille, joka puolestaan syöttää tietovirran laitteistolle, joka huolehtii kanavakoodauksesta, moduloinnista ja varsinaisesta lähetyksestä. Multiplekserille syöttämisen jälkeen TS-paketteja käsitellään aivan kuten mitä tahansa normaaleihin TV-lähetyksiin liittyviä TS-pakettejakin.

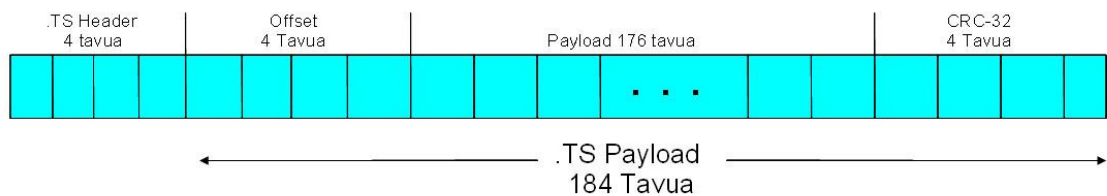
Vastaanottopäässä niin sanottuun *välittäjälaitteeseen* (*Gab Filler*) kytketty digi-TV-vastaanotin ottaa lähetetyn signaalin vastaan ja käsittelee sen samalla tavalla kuin normaalin TV-lähetyksenkin. Vastaanotetusta siirtovirrasta poimitaan talteen tietyllä PID:llä merkityt TS-paketit. Vastaanotteujen TS-pakettien järjestyksellä ei ole varsinaisesti väliä, sillä ennen jatkokäsittelyä ne puskuroidaan muistiin odottamaan, että kaikki tarvittavat paketit on saatu talteen onnistuneesti. Tämä on merkittävää, sillä on oletettavaa, että osa paketeista korruptoituu matkalla ja kaikkia paketteja ei saada objektikarusellin ensimmäisellä kierroksella ehjinä talteen, vaan paketit saatetaan ottaa talteen esimerkiksi objektikarusellin 10 tai jopa 20 syklin aikana.

Viimeisessä vaiheessa TS-paketit järjestetään oikeaan järjestykseen, jolloin niistä muodostuu alkuperäinen ZIP- tiedosto. Tiedoston purkamisen jälkeen kuvatiedostot välitetään lukulaitteelle bluethoot-yhteyden kautta, mikäli sisältöä ei ole jo aikaisemmin

lähetetty lukulaitteelle. Välittäjälaite ottaa TV-lähetysoperaattorin lähetystä vastaan jatkuvasti, mutta säästääkseen lukulaitteen akkua, sille lähetetään vain uutta sisältöä.

## 7.2 Käytetty pakettirakenne

Lähetettävän ZIP-tiedoston muuttaminen validiksi TS-tiedostoksi tehtiin lisäämällä tiedostoon MPEG2/1-standardin mukainen neljän tavun mittainen *TS-header* eli otsakekenttä 184 tavun välein. Otsakekentän jälkeen alkavan hyötykuormaosuuden neljä ensimmäistä tavua käytettiin niin sanottuun offset-kenttään. Offset-kentän jälkeen tuli varsinainen 176 tavun mittainen hyötykuorma-alue (*Payload*), joka oli tässä tapauksessa 176 tavua sanomalehden kuvatiedostot sisältäneestä ZIP-tiedostosta. Hyötykuorman jälkeen paketin neljä viimeiseen tavuun sijoitettiin paketille lasketun CRC-tarkistussumman arvo. Näin ollen kunkin paketin pituudeksi tuli standardin mukainen 188 tavua.



Kuva 17. Tiedonsiirtoon käytettyjen TS-pakettien rakenne

### 7.2.1 Offset

Neljän tavun otsakkeen lisäksi paketteihin lisättiin välittömästi otsakkeen perään neljän tavun offset-kenttä, joka on nollasta ylöspäin juokseva numero. Offset-kenttä kertoo pakettien keskinäisen järjestyksen siten, että ZIP-tiedoston ensimmäiset 176 tavua sisältävä paketti saa offset arvon nolla, seuraavat 176 tavua sisältävä paketti saa offset-arvon yksi ja niin edelleen. Huomionarvoista on, että offset-kentän pituus

rajoittaa siirrettävän tiedoston pituutta, sillä jokainen pakatun tiedoston 174 tavun mittaisen osan sisältävä TS-paketti tarvitsee oman offset-arvon. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että varaamalla neljä tavua eli 32 bittiä offset-kenttää varten, saadaan järjestysnumeroavaruus, jota käyttämällä voidaan siirtää  $2^{32} = 4\,294\,967\,296$  TS-paketin mittainen tiedosto. Näin ollen varsinaisen lähetettävän tiedoston pituus voisi olla maksimissaan  $536870912 \cdot 176 = 755\,914\,244\,096$  tavua eli noin 756 gigatavua.

### 7.2.2 Payload

Jokaisen paketin hyötykuormalle varatun tilan pituus on 176 tavua. Ensimmäisessä paketissa offsetin jälkeen on vielä neljän tavun mittainen versiotunniste, joka kertoo käytännössä lehden numeron ja ilmestymisajan. Versiotunniste auttaa pitämään lehden numerot järjestyksessä välittäjälaitteen muistissa.

### 7.2.3 CRC

Lyhenne CRC tulee sanoista *Cyclic Redundancy Check* [21], ja sillä tarkoitetaan tiivistealgoritmia (kaava 6) [22], jonka avulla luodaan mistä tahansa bittijonosta tarkistussumma. Tarkistussumman avulla voidaan havaita, onko bittijonoon tullut virheitä esimerkiksi siirron aikana. CRC:n avulla voidaan ainoastaan havaita, onko siirrossa tapahtunut virheitä, CRC:n avulla virheitä ei voida korjata. CRC-tarkistussumman laskeminen tehdään siten, että alkuperäiset viestibitit, joiden perään on lisätty CRC-luvun, tässä tapauksessa 32, ilmoittama määrä täytenollabittejä jaetaan tarkistussumman generointipolynomilla. Binääristen lukujen jakolasku tapahtuu niin sanotulla XOR-operaattorilla. Seuraavalla kierroksella jaetaan edellisen kierroksen tulos ( $Q(x)$ ) generointipolynomilla. Tätä sykliä jatketaan niin kauan, kunnes tekijä  $Q(x)$  on 0, ja tämän jälkeen tekijä  $R(x)$  ilmoittaa tarkistussumman arvon.

$$M(x) \cdot x^n = Q(x) \cdot G(x) + R(x) \quad (6)$$

$M(x) \cdot x^n$	Alkuperäiset viestibitit ja niiden loppuun sijoitetut 0 bitit
$Q(x)$	Jakolaskun lopputulos
$G(x)$	Generointi- eli jakajapolynomi
$R(x)$	Jakojäännös

Syy, miksi pakettiin päätettiin lisätä vielä ylimääräinen CRC huolimatta digi-tv-järjestelmissä jo olevista virheenkorjaus- ja havaitsemismetodeista, oli sähköisen sanomalehden lukukokemuksen herkkyys pikselivirheille. Esimerkiksi normaali MPEG-4-pakattu TV-lähetys koostuu 50 kuvasta sekunnissa, joten vaikka yhden pikselin kokoisen virheen tai vääristymän voi kyllä havaita, mikäli se on useammassa peräkkäisessä kuvassa, ei virhe näy pitkää aikaa. Sähköinen sanomalehti sitä vastoin koostuu vain noin 10-20 A4:n kokoisesta staattisesta kuvasta, jolloin yksikin virheellinen pikseli häiritsee lukukokemusta huomattavasti.

#### 7.2.4 Paketti offset-arvolla ff ff ff ff

Lähetettävän sanomalehtisisällön viimeinen TS-paketti toimii niin sanottuna infopakettina. Paketti pitää sisällään tiedon alkuperäisen tiedoston koosta, alkuperäisen tiedoston CRC-arvon, tiedon, milloin alkuperäinen tiedosto on luotu, sekä infopaketin itsensä CRC:n. Alkuperäisen ZIP-tiedoston CRC-arvo on tärkeä, jotta voidaan varmistua siitä, että myöskään tiedoston kokoamisvaiheessa ei ole tapahtunut virheitä. Tieto tiedoston luontiajasta on tarpeellinen, mikäli objektikarusellissa on useita eri tiedostoja samaan aikaan.

## 8 Pilottiprojektit

### 8.1 Marja-Vantaa, Suomi

Pilottiprojekti Suomessa, Marja-Vantaalla alkoi 13. syyskuuta 2011. Pilottiin osallistui 12 kotitaloutta, joille annettiin yksi sähköisen sanomalehden lukulaite ja välittäjälaitteena toimiva pienikokoinen kannettava tietokone kullekin. Projektin aikana joka aamu kello 06.00 DNA:n objektikaruselliin syötettiin uusi sanomalehtitiedosto, joka sisälsi lukulaitetta varten taitetun Vantaan Vartti -sanomalehden sähköisessä muodossa.

Pilottiprojekti onnistui hyvin. Niin lukulaitteet kuin välittäjälaitteetkin toimivat ongelmitta. Ainoaksi ongelmaksi pilotin aikana osoittautui DNA:n lähetyspään objektikarusellina toimivan palvelimen ohjelmistojen ajoittainen kaatuminen, joka johti sanomalehtisisällön lähetyksen myöhästymiseen aiotusta kello 06.00 muutamana

aamuna. Lähetyspään toimiessa tiedostojen välittämisessä osana TV-ohjelmavirtaa ei ollut ongelmia, eikä TV-kanavien katselu myöskään häiriintynyt millään tavalla siirtovirrassa olevasta ylimääräisestä datasta.

## 8.2 Kiina

Keväällä 2012 Kiinassa järjestettiin kaksi pilottiprojektia käyttäen DTMB-standardin mukaisia lähetysverkkoja Kiinan valtiollisen China Daily -sanomalehden toimittamiseksi kokeilussa mukana olevien kotitalouksien lukulaitteille. Kiinassa pilottiprojekti oli järjestetty samalla mallilla kuin Suomessakin, eli mukana olevat taloudet saivat käyttöönsä lukulaitteen ja välittäjälaitteena toimivan tietokoneen. Ensimmäinen projekti alkoi Fengjyanissa 15.1. ja toinen Shanghaissa myöhemmin keväällä. Molemmat projektit kestivät kaksi viikkoa. Myös Kiinassa järjestetyissä pilottiprojekteissa tiedonsiirtomalli toimi moitteettomasti. Kiinassa ilmenneet ongelmat olivat pääsääntöisesti normaaleja TV-lähetyksen vastaanottamiseen liittyviä ongelmia, kuten antennien ja kaapeloinnin huonoa kuntoa tai lähetysolosuhteista ja etäisyyksistä johtuvia ongelmia.

## 9 Yhteenveto

Insinööriyössä tavoitteena oli kehittää ja testata malli, jolla mitä tahansa niin sanottua geneeristä tietoa voitaisiin siirtää käyttäen hyväksi maanpäällisiä digi-TV-lähetys- ja vastaanottojärjestelmiä. Ottaen huomioon, että insinööriyössä kehitettyä mallia testattiin onnistuneesti testiympäristössä kolmen eri standardin mukaisilla lähetysasetuksilla ja kahden eri standardin mukaisissa tuotantoympäristöissä kahteen eri maahan sijoittuneissa pilotti kokeiluissa, voidaan oikeutetusti sanoa, että tavoitteet saavutettiin kirkkaasti ja projekti onnistui. Tärkeimpänä asiana projektista opittiin, että maanpäälliset digi-TV-verkot, standardista riippumatta, ovat varteenotettava tapa lähettää yksisuuntaisesti mitä tahansa digitaalisessa muodosta olevaa tietoa usealle tilaajalle.

Tämän insinööriyön puitteissa tutkittiin ja testattiin ainoastaan tapaa välittää sanomalehtisisältö MPEG-TS-siirtovirran sisällä. Luonnollinen kehityssuunta olisi tutkia ja testata DVB-T2-standardissa olevaa PLP-konseptia tiedonsiirtometodina.

Siirrettävälle sisällölle voisi varata oman PLP:n, joka moduloitaisiin matalan tason modulaatiolla ja koodattaisiin suurella virheenkorjaussuhteella. Tämä mahdollistaisi sanomalehden levittämisen laajemmalle alueelle kuin varsinaisen TV-ohjelman ilman, että lähetysjärjestelmään tarvitsisi tehdä muutoksia. PLP-konseptin hyödyntäminen vähentäisi myös vastaanottopään prosessointitarvetta, koska ainoastaan sanomalehdelle varattu PLP tarvitsisi käsitellä.

Vastaanottopään mahdollisimman vähäinen prosessointitarve on erittäin tärkeää, koska juuri prosessointi kuluttaa eniten virtaa vastaanotossa ja itse lukulaitteen prosessointitehot ovat varsin vähäiset. Lukulaitteessa käytetyt niin sanotut sähköpaperinäytöt kuluttavat virtaa ainoastaan silloin, kun näytöllä oleva kuva vaihdetaan. Staattisen kuvan näyttäminen ei näin ollen kuluta virtaa. Mikäli vastaanotossa vaadittava prosessointiteho ja virran kulutus saataisiin riittävän pieneksi, välittäjälaitetta ei tarvittaisi ollenkaan, mikä tekisi sähköisen sanomalehden konseptista huomattavasti toimivamman. Vaikka on mahdollista, että niin sanottujen kämmen- ja taulutietokoneiden yleistyminen poistaa tarpeen erillisen lukulaitteen kehittämiselle, ei tarve yksisuuntaiselle tiedonsiirtometodille poistu.

## Lähteet

- 1 Demographics of China. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Demographics\\_of\\_China](http://en.wikipedia.org/wiki/Demographics_of_China)>. Päivitetty 16.8.2012.  
Luettu 20.8.2012.
- 2 Dvb-projektin internetsivut.  
<[http://www.dvb.org/about\\_dvb/dvb\\_worldwide/DVB-T\\_map.pdf](http://www.dvb.org/about_dvb/dvb_worldwide/DVB-T_map.pdf)>.
- 3 DVB-T. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T>>.  
Päivitetty 28.9.2012. Luettu 26.7.2011.
- 4 Herve Benoit. 2006. Digital television, Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework. 3<sup>rd</sup> edition. Elsevier.
- 5 Quadrature phase-shift keying. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/QPSK> >. Päivitetty 27.8.2012. Luettu 26.8.2011.
- 6 Quadrature amplitude modulation. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/QAM> >. Päivitetty 27.10.2012. Luettu 26.7.2011.
- 7 Orthogonal frequency-division multiplexing. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<http://en.wikipedia.org/wiki/OFDM> >. Päivitetty 26.1.2012. Luettu 12.5.2012.
- 8 DVB-T2. Verkkodokumentti. Wikipedia. <<http://en.wikipedia.org/wiki/DVB-T2>  
[Päivitetty 28.9.2012. Luettu 26.7.2011](#)>.
- 9 General overview of DVB T2 standard. Verkkodokumentti. ENENSYS Technologies yrityksen kotisivut. <<http://www.enensys.com/technologies/dvb-t2-overview.html>>.
- 10 Low-density parity-check code. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/LDPC>>. Päivitetty 24.10.2012. Luettu 26.7.2011.
- 11 BCH Code. Verkkodokumentti. Wikipedia.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/BCH\\_code](http://en.wikipedia.org/wiki/BCH_code)>. Päivitetty 12.11.2012. Luettu 26.7.2011.
- 12 Digital Terrestrial Multimedia Broadcast. Verkkodokumentti. Wikipedia. Päivitetty 30.8.2011. Luettu 26.7.2011.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Digital\\_Terrestrial\\_Multimedia\\_Broadcast](http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_Terrestrial_Multimedia_Broadcast)>.
- 13 Liu, Crussière, H  lard, Pasquero. Institute of Electronics and Telecommunications of Rennes. Analysis and Performance Comparison of DVB-T and DTMB Systems for Terrestrial Digital TV.  
<<http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0809/0809.5188.pdf>>.
- 14 Chung-yen Ong, Jian Song and Changyong Pan, Yangang Li. IEEEExplore artikkeli Technology and Standards of Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcasting 5.2010.

- 15 Zhiyu Yang, Lang Tong and Lin Yang. 2002. Outage Probability Comparison of CP-OFDM and TDS-OFDM for Broadcast Channels.  
<<http://acsp.ece.cornell.edu/papers/YangTongYang02GCom.pdf>>.
- 16 Alka Sawlikar, Manisha Sharma. Analysis of Different Pseudo Noise Sequences. IJCTEE Volume 1, Issue 2.  
<[http://www.ijctee.org/files/Issuetwo/IJCTEE\\_0910\\_30.pdf](http://www.ijctee.org/files/Issuetwo/IJCTEE_0910_30.pdf)>.
- 17 MPEG transport stream. Verkkodokumentti. Wikipedia. Päivitetty 30.10.2012. Luettu 26.7.2011. <[http://en.wikipedia.org/wiki/MPEG\\_transport\\_stream](http://en.wikipedia.org/wiki/MPEG_transport_stream)>.
- 18 Program Specific Information. Verkkodokumentti. Wikipedia. Päivitetty 1.11.2012. Luettu 26.7.2011.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Program\\_Specific\\_Information](http://en.wikipedia.org/wiki/Program_Specific_Information)>.
- 19 Luettelo Suomen televisioasemista. Verkkodokumentti. Viestintäviraston internet sivut.  
<<http://www.ficora.fi/index/palvelut/palvelutaiheittain/tvjaradiotoiminta/paikallisaradioluettelo/tvasemat.htm>>.
- 20 Lähetinasematiedot. DNA Oy internetsivut.  
<<http://www2.dna.fi/lahetinasematiedot>>.
- 21 Cyclic redundancy check. Verkkodokumentti. Wikipedia . Päivitetty 11.11.2012. Luettu 26.9.2012. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic\\_redundancy\\_check](http://en.wikipedia.org/wiki/Cyclic_redundancy_check)>.
- 22 Mathematics of CRC. Verkkodokumentti. Wikipedia. Päivitetty 30.11.2011. Luettu 26.9.2012. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematics\\_of\\_CRC](http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematics_of_CRC)>.



## TS-Creator-ohjelma

```
#include <stdint.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

void ts_creator(FILE*fp);
#define pack_big(x,y) (x<<16)|(y<<8)
#define pack_little(a,b,c,d) (a<<24)|(b<<16)|(c<<8)|(d)
uint16_t substring(int start,int end ,char*text);
uint32_t high_bytes,low_bytes;
int main(int argc, char *argv[])
{
    uint16_t year;
    uint8_t month ,day,hour,minute,second;
    char filename[100];
    fprintf(stderr, "super ts creator\n");
    fprintf(stderr, "usage: ./tscreator year-month-day-hr-min-sec.zip > stream.ts\n");
    FILE*fp;
    fp= fopen(argv[1],"rb");
    if(fp==NULL)
    {
        fprintf(stderr,"cant open file %s ",argv[1]);
    }
    year=substring(0,4,argv[1]);
    month=substring(5,7,argv[1]);
    day=substring(8,10,argv[1]);
    hour=substring(11,13,argv[1]);
    minute=substring(14,16,argv[1]);
    second=substring(17,19,argv[1]);
    high_bytes=pack_big(year,month);
    low_bytes=pack_little(day,hour,minute,second);
    fprintf(stderr,"%08x %08x",low_bytes,high_bytes);
    ts_creator(fp);
}

typedef unsigned char uint8_t;
typedef unsigned short uint16_t;
typedef unsigned int uint32_t;
uint32_t crc32fast(uint32_t Crc, uint32_t Data)
{
    static const uint32_t CrcTable[16] = { // Nibble lookup table for
//0x04C11DB7 polynomial
0x00000000,0x04C11DB7,0x09823B6E,0x0D4326D9,0x130476DC,0x17C56B6B,0x1A864DB2,0x1E475005,
0x2608EDB8,0x22C9F00F,0x2F8AD6D6,0x2B4BCB61,0x350C9B64,0x31CD86D3,0x3C8EA00A,0x384FBDDB
};
}
```

```

    Crc = Crc ^ Data; // Apply all 32-bits
    // Process 32-bits, 4 at a time, or 8 rounds
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28]; // Assumes 32-bit reg, masking
    //index to 4-bits
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28]; // 0x04C11DB7 Polynomial used
    //in STM32
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28];
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28];
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28];
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28];
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28];
    Crc = (Crc << 4) ^ CrcTable[Crc >> 28];
    return(Crc);
}

void generate_packet(uint8_t *packet, int offset, uint8_t *data, int
sequence)
{
    int i;
    uint32_t crc;
    packet[0] = 0x47;
    packet[1] = 0x00;
    packet[2] = 0x45;
    packet[3] = 0x10 | sequence;
    *(uint32_t *)(&packet[4]) = offset;
    //memcpy(packet + 8, data, 176);
    crc = 0xffffffff;
    for (i = 0; i < 176; i++)
    {
        crc = crc32fast(crc, data[i]);
        packet[8 + i] = data[i];
    }
    *(uint32_t *)(&packet[184]) = crc;
}

uint32_t calc_total_crc(uint8_t *data, uint32_t total_crc, int
bytecount)
{
    int i;
    for (i = 0; i < bytecount; i++)
    {
        total_crc = crc32fast(total_crc, data[i]);
    }
    return total_crc;
}

void ts_creator(FILE*fp)
{
    int bytesread;

```

```

uint8_t data[176];
uint8_t packet[188];
int seqnum = 0;
int offset;
int filelen;
uint32_t total_crc;
uint32_t cur_crc;
offset = 0;
total_crc = 0xffffffff;
while(!feof(fp))
{
    bytesread = fread(data, 1, 176, fp);
    fprintf(stderr, "read %i bytes. (offset is now %i)\n",
bytesread, offset);

    generate_packet(packet, offset, data, seqnum);
    total_crc = calc_total_crc(data, total_crc, bytesread);
    fwrite(packet, 1, 188, stdout);
    fprintf(stderr, "%08X\n", total_crc);
    seqnum ++;
    seqnum &= 15;
    offset += bytesread;
}
filelen = offset;
fprintf(stderr, "file length: %i final crc: %08X\n", filelen,
total_crc)

memset(data, 0, 176)
*(uint32_t *)&data[0] = filelen;
*(uint32_t *)&data[4] = total_crc;
*(uint32_t *)&data[8]=low_bytes;
*(uint32_t *)&data[12]=high_bytes;
fprintf(stderr, "Timestamp %08x %08x", low_bytes, high_bytes);
generate_packet(packet, 0xffffffff, data, seqnum);
fwrite(packet, 1, 188, stdout);

fclose(fp);
}

uint16_t substring(int start, int end, char*text)
{
    int i;
    char me[end-start-1];
    for(i=start; i<end; i++){
        me[i-start]=text[i];
    }
    return atoi(me);
}

```